



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA CISTERNA PARA UN
SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE UNA PLAZA COMERCIAL
UBICADA EN EL KM 14.5 VÍA A SAMBORONDÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

Autores: Aguilar Paredes Melanie de los Ángeles

Pinos Cárdenas Jesús Aarón

Tutor: Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra. Msc

Guayaquil- Ecuador

2025

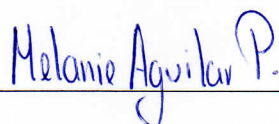
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Melanie de los Angeles Aguilar Paredes con documento de identificación N° 1804586343 y Jesús Aarón Pinos Cárdenas con documento de identificación N° 0941436008; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 10 de enero del 2025

Atentamente,



Melanie de los Angeles Aguilar Paredes

1804586343



Jesús Aarón Pinos Cárdenas

0941436008

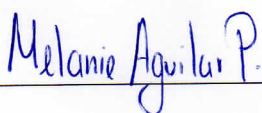
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Melanie de los Angeles Aguilar Paredes con documento de identificación N° 1804586343 y Jesús Aarón Pinos Cárdenas con documento de identificación N° 0941436008, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Análisis Estructural De Una Cisterna Para Un Sistema Contra Incendios De Una Plaza Comercial Ubicada En El Km 14.5 Vía A Samborondón”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

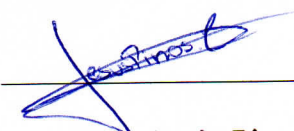
Guayaquil, 10 de enero del 2025

Atentamente,



Melanie de los Angeles Aguilar Paredes

1804586343



Jesús Aarón Pinos Cárdenas

0941436008

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra; con documento de identificación N° 1205363326 , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA CISTERNA PARA UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE UNA PLAZA COMERCIAL UBICADA EN EL KM 14.5 VÍA A SAMBORONDÓN, realizado por Melanie de los Angeles Aguilar Paredes con documento de identificación N° 1804586343 y por Jesús Aarón Pinos Cárdenas con documento de identificación N° 0941436008, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de enero del 2025

Atentamente,



Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSC.
C.I. 1205363326

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por la sabiduría, paciencia y fortaleza que me brindó durante toda esta etapa universitaria.

A mis padres, Marianela y Angel, quienes han sido mi mayor fuente de amor, fortaleza y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, que el esfuerzo, la honestidad y la perseverancia son los pilares para alcanzar cualquier meta. Su confianza en mí y sus constantes palabras de aliento me han motivado a superar cada desafío que he encontrado en este camino. Este logro no habría sido posible sin el sacrificio y dedicación que siempre han demostrado por mi bienestar y mi educación. Todo lo que soy y lo que aspiro a ser, se lo debo a ustedes.

A mi novio, Jesús, por ser mi compañero incondicional en este camino. Gracias por tu apoyo, paciencia y por siempre creer en mí, incluso en los momentos más difíciles. Tu amor y aliento han sido una fuente constante de motivación.

A mis amigos, Merly, Jordan, Daniel, Anderson y Pepe por la amistad tan bonita que formamos a lo largo de estos años, y por todas las experiencias que nos hicieron llegar hasta el final juntos.

A mi tutor, Ing. Kevin Proaño, por su invaluable guía, paciencia y compromiso durante todo el proceso de esta investigación. Su dedicación y disposición para compartir sus amplios conocimientos fueron fundamentales para alcanzar la calidad y los objetivos planteados en este trabajo. Su apoyo constante fue una fuente de motivación y aprendizaje que siempre apreciaré profundamente.

A nuestro estimado director de carrera, Ing Fausto Cabrera, por su liderazgo, dedicación y compromiso, los cuales han sido fundamentales para nuestro desarrollo académico y profesional.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis docentes, Ing. Luis Moya, Ing. Pedro Peña e Ing. Alfredo Barragán por su orientación y valiosos consejos durante este viaje académico. En especial, al Ing. Leonardo Echeverría, por compartir su experiencia y sabiduría, cuyas sugerencias han sido una gran fuente de inspiración para seguir aprendiendo.

A la Universidad Politécnica Salesiana que me permitió adquirir conocimientos para trabajar en mi profesión y destacar en la sociedad.

Con sincero agradecimiento.

Melanie de los Angeles Aguilar Paredes

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, mis abuelos, mis tíos y mi novia, quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de este desafiante camino universitario. Sus palabras de aliento, su paciencia y su amor inquebrantable me han acompañado en cada etapa de este proceso, brindándome la fuerza necesaria para superar los momentos difíciles y celebrar los logros obtenidos. Gracias a sus consejos y su constante motivación, he logrado mantenerme enfocado en mis metas y culminar con éxito esta etapa tan importante en mi vida.

Durante estos cuatro años, mi experiencia universitaria ha sido mucho más que un proceso académico. Ha sido una etapa de crecimiento personal, de autodescubrimiento y de formación de lazos que durarán toda la vida. Tuve la fortuna de conocer a personas extraordinarias, quienes con el tiempo se convirtieron en mi segunda familia. Juntos compartimos momentos que siempre recordaré con cariño: días llenos de risas, noches de arduo trabajo, aventuras inesperadas y, en algunas ocasiones, lágrimas que nos recordaron la importancia de levantarnos y seguir adelante. Cada experiencia vivida me dejó lecciones valiosas que no solo me formaron como profesional, sino también como ser humano.

A todas aquellas personas que de alguna manera formaron parte de este recorrido, mi eterna gratitud. Esta etapa, aunque llena de retos, fue también una de las más enriquecedoras y significativas de mi vida. A quienes estuvieron a mi lado, a quienes me brindaron su apoyo en los momentos más difíciles y a quienes me inspiraron a ser mejor cada día, les dedico este logro. Sin ustedes, este sueño no habría sido posible.

Y por último agradecerles a mis queridos docentes, Ing. Leonardo Echeverría, Ing. Fausto Cabrera, Ing. Luis Moya e Ing. Kevin Proaño los cuales estuvieron a lo largo de todo este camino universitario con todos sus consejos y enseñanzas impartidas dentro y fuera de las aulas de clases.

Jesús Aarón Pinos Cárdenas

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de mi vida, especialmente durante la realización de esta tesis.

A mi Mamá,

Gracias por ser mi inspiración y mi modelo a seguir, espero algún día llegar a ser la mitad de la mujer que eres. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudé de mis capacidades, tú confianza en mí me ha dado la fuerza para lograr cada cosa que he hecho.

A mi Papá,

Este logro es por ti, gracias por todo el esfuerzo y sacrificio que has hecho para que yo tuviera todas las oportunidades de estudiar sin preocupaciones, espero te sientas orgulloso de mí.

A mis hermanos, quienes son mi motivo de superación.

A mis abuelos, cuya sabiduría, amor y ejemplo han sido una fuente inagotable de inspiración en mi vida.

A ustedes, que con sus historias, consejos y valores me enseñaron la importancia de la perseverancia, la humildad y el trabajo duro. Su legado no solo vive en mi corazón, sino también en cada paso que doy para alcanzar mis metas.

Con todo mi amor, respeto y gratitud.

Melanie de los Angeles Aguilar Paredes

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis madres Miriam Cárdenas y Mirian Landín que siempre estuvieron para mí en este camino universitario y siempre me escucharon y me aconsejaron para poder seguir adelante en este camino lleno de aprendizaje

A mi novia a la cual conocí en este bello camino y estuvo a mi lado en todos los momentos vividos tanto afuera como adentro de la universidad. Y fue mi soporte en los momentos más difíciles.

Y sobre todo a mi abuelo Julio Cárdenas el cual es la persona más importante en mi vida, que siempre me dio su apoyo y amor incondicional, fue la persona con la que compartí momentos de aprendizaje a su lado en el trabajo y me dio la confianza de poder explotar mis conocimientos en el campo laboral brindándome la confianza y conocimientos necesarios para poder afrontar los problemas surgidos. Gracias padre por todas esas largas conversaciones que teníamos en el carro mientras viajábamos a las obras y por poder conocerlo tal y como es, extraño esas vivencias a su lado las cuales voy a llevar en mi corazón para toda mi vida.

Jesús Aarón Pinos Cárdenas

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar la infraestructura de una cisterna de hormigón armado diseñada para un sistema contra incendios en una plaza comercial ubicada en el km 14.5 vía a Samborondón. Este análisis se centra en identificar posibles deficiencias estructurales y operativas que puedan comprometer la funcionalidad y seguridad de la cisterna en situaciones de emergencia. A partir de esta evaluación, se busca proponer mejoras que optimicen tanto su capacidad de almacenamiento y distribución de agua como su eficacia general dentro del sistema contra incendios, asegurando el cumplimiento de las normativas de seguridad vigentes.

El desarrollo de este trabajo incluye un estudio integral que abarca varias etapas. En primer lugar, se realizó una revisión detallada de los planos estructurales de la cisterna de hormigón armado para comprender las condiciones iniciales de diseño y construcción. Luego, se llevaron a cabo inspecciones técnicas en el sitio para evaluar el estado actual de la infraestructura, identificando posibles problemas como fisuras, filtraciones, corrosión de la armadura y otros deterioros característicos del hormigón armado expuesto a condiciones adversas. Además, se utilizó la herramienta computacional SAP2000 para realizar un modelado y simulación estructural que permitió analizar el comportamiento de la cisterna bajo diferentes cargas y escenarios, identificando puntos críticos que podrían requerir intervención.

El análisis incluyó también una evaluación de la capacidad operativa de la cisterna en términos de su almacenamiento y distribución de agua dentro del sistema contra incendios, considerando su rol esencial en la prevención y control de incendios en la plaza comercial. Paralelamente, se revisaron las normativas y estándares de seguridad aplicables a sistemas de protección contra incendios y a estructuras de hormigón armado, para garantizar que las propuestas de mejora cumplan con los requisitos técnicos y legales correspondientes.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten identificar las deficiencias existentes y proponer soluciones técnicas basadas en principios de ingeniería estructural, garantizando la funcionalidad y durabilidad de la cisterna. Este trabajo no solo contribuye a optimizar el desempeño de la infraestructura de hormigón armado, sino que también refuerza la seguridad general del sistema contra incendios, minimizando riesgos para los usuarios y protegiendo los bienes de la plaza comercial en caso de emergencias. Además, las recomendaciones planteadas ofrecen un enfoque sostenible que asegura la operatividad del sistema a largo plazo.

Palabras clave: *Análisis estructural, sistemas contra incendios, modelado, SAP2000*

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the infrastructure of a reinforced concrete cistern designed for a firefighting system in a shopping mall located at km 14.5 on the road to Samborondón. This analysis focuses on identifying possible structural and operational deficiencies that may compromise the functionality and safety of the cistern in emergency situations. Based on this evaluation, improvements are proposed to optimize both its water storage and distribution capacity and its overall effectiveness within the firefighting system, ensuring compliance with current safety regulations.

The development of this work includes a comprehensive study that covers several stages. First, a detailed review of the structural plans of the reinforced concrete cistern was carried out to understand the initial design and construction conditions. Then, technical inspections were carried out on site to assess the current state of the infrastructure, identifying possible problems such as cracks, leaks, corrosion of the reinforcement and other deteriorations characteristic of reinforced concrete exposed to adverse conditions. In addition, the SAP2000 computer tool was used to perform structural modeling and simulation that allowed the behavior of the cistern to be analyzed under different loads and scenarios, identifying critical points that might require intervention.

The analysis also included an evaluation of the operational capacity of the cistern in terms of its storage and distribution of water within the fire-fighting system, considering its essential role in the prevention and control of fires in the shopping center. At the same time, the regulations and safety standards applicable to fire protection systems and reinforced concrete structures were reviewed, to ensure that the improvement proposals comply with the corresponding technical and legal requirements.

The results obtained in this study allow the identification of existing deficiencies and the proposal of technical solutions based on structural engineering principles, guaranteeing the functionality and durability of the cistern. This work not only contributes to optimizing the performance of the reinforced concrete infrastructure, but also reinforces the overall safety of the fire-fighting system, minimizing risks for users and protecting the assets of the shopping center in case of emergencies.

Keywords: *Structural analysis, fire systems, modeling, SAP2000*

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Problema de estudio	2
1.2.1 A nivel global:	2
1.2.2 A nivel regional (América Latina):	3
1.2.3 A nivel nacional (Ecuador):	4
1.3 A nivel local (costa ecuatoriana):	4
1.4 Justificación	5
1.5 Alcance del proyecto	6
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo General	8
1.6.2 Objetivos específicos	8
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco teórico referencial	9
2.2 Fundamentos teóricos	9
2.2.1 Sismos	9
2.2.2 Componentes de un sismo	9
.....	10
2.2.3 Registros Sísmicos en Ecuador	10
2.2.4 Sismos y su impacto en estructuras	11

2.2.5	Ejemplos de fallas estructurales en cisternas durante eventos sísmicos en Ecuador	11
2.3	Diseño sísmico de estructuras	13
2.4	Diseño Sísmico de una Cisterna	14
2.5	Sistema contra incendios	15
2.6	Tipos de Sistemas Contra Incendios	16
2.7	Sistemas contra incendios en edificaciones comerciales	17
2.8	Función y componentes esenciales de los sistemas contra incendios.	18
2.9	Diseño hidráulico de cisternas y su interacción con sistemas contra incendios.	19
2.10	Capacidad de almacenamiento: demanda de agua en emergencias.	20
2.11	Importancia del suministro constante de agua en la eficiencia del sistema contra incendios.	21
2.12	Integración de sistemas de detección y supresión en edificaciones comerciales.	23
2.13	Cisternas de hormigón armado	24
2.14	Ventajas del Hormigón Armado en Estructuras Hidráulicas	24
2.15	Propiedades mecánicas del hormigón y el acero de refuerzo.	25
2.16	Impacto de la durabilidad y la impermeabilidad en el rendimiento de la cisterna.	27
12.6	Factores de degradación: corrosión, fisuras y exposición ambiental	28
12.7	Análisis estructural en cisternas de hormigón armado	29
12.8	Métodos de Análisis Estructural para Cisternas de Hormigón Armado.	29
12.9	Condiciones de carga consideradas en el análisis.	31
12.10	La presión que ejerce el agua en la cisterna.	32
12.11	Cargas hidrostáticas	33
12.12	Cargas Hidrodinámicas	33
12.13	Carga hidrodinámica impulsiva	35
12.14	Carga hidrodinámica convectiva	36
12.15	Herramientas y métodos de análisis.	36
12.16	Parámetros clave evaluados en el análisis estructural	37
2.23	Uso del SAP2000 en estructuras de hormigón armado.	38
2.24	Importancia del análisis estructural.	39
2.25	Importancia de Garantizar la Seguridad de los Usuarios y la Infraestructura	40

2.26	Relevancia del estudio en la plaza comercial Almax Center	41
2.27	Normativa	42
CAPITULO III		44
MARCO METODOLÓGICO		44
3.1	Ubicación del proyecto	44
3.2	Cálculos.....	45
3.2.1	Cálculo de coeficientes sísmicos	45
3.3	Tipo de perfil de suelo	46
3.3	Coeficientes de perfil de suelo.....	47
3.4	Coeficiente de importancia.....	48
3.5	Factor de reducción de respuesta para estructuras diferentes a las de edificación.....	48
3.6	Cálculos sísmicos	49
	-Peso de hormigón.....	50
3.7	Espesor de pared	51
3.8	Acero horizontal	52
3.9	Tensión Anular	54
3.10	Datos geométricos	56
3.11	Cúpula.....	57
3.12	Acero vertical.....	58
3.13	Cimentación	60
CAPITULO IV.....		79
4.1	RESULTADOS.....	79
4.2	CONCLUSIONES.....	89
4.3	RECOMENDACIONES.....	90
4.4 BIBLIOGRAFÍA.....		92
CAPITULO V.....		94
5.1	ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zona sísmica	46
Tabla 2. Población.....	46
Tabla 3. Perfiles de suelos.....	47
Tabla 4. Tipos de perfiles	47
Tabla 5. Edificaciones esenciales.....	48
Tabla 6. Valores del coeficiente	48
Tabla 7. Datos de cisterna	68
Tabla 8 Datos del tanque.....	79
Tabla 9. Datos de zona sísmica	79
Tabla 10. Pesos de la estructura	80
Tabla 11. Cortantes	80
Tabla 12. Cargas admisibles	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sismo.....	9
Figura 2. Intensidad de un sismo.....	10
Figura 3. Eventos sísmicos en el ecuador.....	10
Figura 4. Corrosión.....	28
Figura 5. Fisuras en el tanque.....	29
Figura 6. Cisterna de hormigón armado	31
Figura 7. Cargas hidrodinámicas	35
Figura 8. Tanque cilíndrico de hormigón armado	38
Figura 9. Ubicación	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de zonificación	45
Ilustración 2. Modelo de software.....	69
Ilustración 3. Programación	69
Ilustración 4. Diseño del cilindro	70
Ilustración 5. Proyecto de SAP2000	71
Ilustración 6. Group Definition	72
Ilustración 7. Group Definition Cúpula	73
Ilustración 8. Material Property Data.....	74
Ilustración 9. Programa tipo de elementos	75
Ilustración 10. Diseño de elementos en el mallado	76
Ilustración 11. Diseño de patrones	76
Ilustración 12. Diseño combinación de carga	77
Ilustración 13. Diseño de patrón	78
Ilustración 14. Diseño de cilindro	78
Ilustración 15. Deformación del tanque debido a sus cargas muertas	82
Ilustración 16. Deformación del tanque debido a sus cargas hidrostáticas	82
Ilustración 17. Deformación del tanque debido a la combinación entre cargas muertas y cargas hidrostáticas	83
Ilustración 18. Deformación del tanque debido a la combinación entre cargas muertas y cargas vivas	83
Ilustración 19. Deformación del tanque debido a la combinación entre cargas muertas, cargas vivas y cargas hidrostáticas	83
Ilustración 20. Fuerzas en el plano (cargas muertas)	84
Ilustración 21. Fuerzas en el plano (cargas hidrostáticas).....	85
Ilustración 22. Fuerzas en el plano (combinación de cargas muertas y hidrostáticas).....	85
Ilustración 23. Fuerzas en el plano (combinación de cargas muertas y vivas)	85
Ilustración 24. Fuerzas en el plano (combinación de cargas muertas, vivas y hidrostáticas).....	85
Ilustración 25. Fuerzas que actúan sobre las restricciones (cargas muertas)	86
Ilustración 26. Fuerzas que actúan sobre las restricciones (cargas hidrostáticas)	87
Ilustración 27. Fuerzas que actúan sobre las restricciones (combinación de cargas).....	88

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La seguridad contra incendios es un aspecto crucial en edificaciones de alta concurrencia, como las plazas comerciales, donde la protección de las personas y los bienes es una prioridad. Dentro de estos sistemas de protección, las cisternas de almacenamiento de agua desempeñan un papel fundamental al garantizar el suministro adecuado para controlar emergencias. Sin embargo, el diseño, construcción y mantenimiento de estas estructuras puede enfrentar desafíos técnicos que comprometan su funcionalidad, como deficiencias estructurales, desgaste por el tiempo o falta de cumplimiento normativo.

En este contexto, la presente tesis se centra en el análisis estructural de una cisterna de hormigón armado destinada al sistema contra incendios de la plaza comercial Almax Center, ubicada en el km 14.5 de la vía a Samborondón. Este espacio representa un punto estratégico de actividad comercial y social, lo que incrementa la relevancia de contar con sistemas de seguridad óptimos. La incertidumbre sobre el estado actual de la cisterna y su capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia resalta la necesidad de una evaluación técnica exhaustiva que garantice su funcionamiento eficiente y seguro.

El análisis propuesto en este trabajo incluye una revisión detallada de los planos estructurales, inspecciones en campo y el uso de herramientas computacionales avanzadas, como SAP2000, para simular su comportamiento bajo distintas condiciones de carga, tanto estáticas como dinámicas. Además, se evaluará el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales, como la NEC, ACI 318, y NFPA 22, asegurando que la cisterna cumpla con los estándares de seguridad y operatividad requeridos.

La relevancia de este estudio no solo radica en garantizar la protección de los usuarios y la infraestructura de la plaza comercial, sino también en generar un modelo técnico replicable para otras edificaciones con características y necesidades similares. Asimismo, se pretende proponer soluciones que optimicen la funcionalidad y durabilidad de la cisterna, promoviendo un enfoque sostenible que contribuya a la prevención y mitigación de riesgos.

En definitiva, esta investigación tiene como propósito fortalecer la seguridad contra incendios de la plaza comercial mediante un análisis estructural riguroso, que permita identificar deficiencias, proponer mejoras y garantizar el cumplimiento de los estándares técnicos exigidos, generando un impacto positivo tanto en la protección de las personas como en la preservación de los bienes materiales.

1.2 Problema de estudio

Las cisternas de hormigón armado destinadas a sistemas contra incendios son componentes esenciales para garantizar la seguridad de edificaciones, especialmente en áreas de alta concurrencia como plazas comerciales. Sin embargo, estas estructuras pueden enfrentar deficiencias estructurales y operativas debido a factores como diseños inadecuados, desgaste por el tiempo, exposición a condiciones adversas, o falta de mantenimiento y supervisión técnica adecuada. Estas deficiencias comprometen la capacidad de la cisterna para almacenar y distribuir agua de manera eficiente, afectando directamente la eficacia del sistema contra incendios.

1.2.1 A nivel global:

En el ámbito global, las cisternas de hormigón armado son un componente indispensable en los sistemas contra incendios, cuya función principal es garantizar la disponibilidad inmediata de agua para responder a emergencias en edificaciones de alta concurrencia, como centros comerciales, hospitales, aeropuertos y grandes complejos residenciales. Estas estructuras se diseñan y construyen bajo estándares internacionales, como los establecidos por la *National Fire Protection Association* (NFPA) y la *International Organization for Standardization* (ISO). Sin embargo, investigaciones y reportes técnicos han identificado problemas recurrentes asociados a su diseño, operación y mantenimiento.

Las fallas estructurales y operativas en estas cisternas pueden atribuirse a múltiples factores:

- **Diseño inadecuado:** En ocasiones, los diseños no consideran correctamente las cargas dinámicas y estáticas, las condiciones climáticas, o los riesgos específicos, como sismos o inundaciones.
- **Materiales deficientes:** El uso de hormigones de baja calidad o el deterioro de refuerzos metálicos debido a la corrosión comprometen la durabilidad de estas estructuras.
- **Desgaste por uso prolongado:** La falta de renovación o adecuación de las cisternas para cumplir con normativas actualizadas genera obsolescencia técnica.

- **Falta de mantenimiento:** Los programas de inspección y mantenimiento preventivo son insuficientes, lo que incrementa la vulnerabilidad de las cisternas y disminuye su capacidad de respuesta.

Adicionalmente, la variabilidad climática global y la ocurrencia de fenómenos extremos, como huracanes, terremotos e inundaciones, generan un mayor desafío para estas infraestructuras, especialmente en regiones propensas a desastres naturales. Las fallas en las cisternas no solo comprometen los sistemas contra incendios, sino que también representan un riesgo significativo para las vidas humanas y los bienes materiales.

1.2.2 A nivel regional (América Latina):

En América Latina, la infraestructura destinada a sistemas contra incendios enfrenta desafíos importantes debido al crecimiento urbano acelerado, las limitaciones económicas y la falta de normativas unificadas y estrictamente aplicadas. Países como México, Brasil, Chile y Argentina han documentado problemas relacionados con el diseño y mantenimiento de cisternas de hormigón armado, especialmente en edificaciones comerciales y residenciales de gran escala.

- **Riesgos sísmicos:** En la región andina y países como México y Chile, la actividad sísmica frecuente representa una amenaza para la integridad estructural de las cisternas. Muchas no están diseñadas para soportar movimientos telúricos, lo que aumenta el riesgo de fisuras y fugas en caso de un evento sísmico.
- **Condiciones climáticas adversas:** En zonas tropicales y costeras, como Colombia, Panamá y el Caribe, la alta humedad y la salinidad aceleran la corrosión de los refuerzos metálicos del hormigón. Estas condiciones ambientales reducen significativamente la vida útil de las cisternas, requiriendo intervenciones más frecuentes.
- **Falta de recursos técnicos y financieros:** En muchas ciudades latinoamericanas, los sistemas contra incendios son una prioridad secundaria, lo que deriva en una asignación insuficiente de recursos para garantizar su mantenimiento adecuado. Esto incluye la carencia de inspecciones periódicas y la falta de personal capacitado para evaluar y reparar las infraestructuras.

En consecuencia, las deficiencias estructurales y operativas de las cisternas comprometen la capacidad de almacenamiento y distribución de agua, afectando la efectividad de los sistemas contra incendios en edificaciones críticas.

1.2.3 A nivel nacional (Ecuador):

En Ecuador, las cisternas de hormigón armado para sistemas contra incendios son esenciales para garantizar la seguridad de las edificaciones en centros urbanos y áreas comerciales. Sin embargo, enfrentan múltiples desafíos asociados a la calidad de los materiales, los métodos de construcción y la falta de cumplimiento de normativas internacionales.

- **Riesgos sísmicos:** Ecuador se encuentra en una región de alta actividad sísmica, lo que pone a prueba la resiliencia de las infraestructuras, incluidas las cisternas de hormigón armado. En muchos casos, estas no cuentan con un diseño antisísmico adecuado, lo que aumenta su vulnerabilidad ante eventos telúricos.
- **Normativas locales insuficientes:** Aunque existen regulaciones nacionales para la construcción y operación de sistemas contra incendios, su aplicación es limitada debido a la falta de supervisión técnica y la ausencia de actualizaciones periódicas.
- **Condiciones climáticas diversas:** Las cisternas en la región Sierra enfrentan desafíos relacionados con bajas temperaturas y ciclos de congelación-descongelación, mientras que, en la costa y Amazonía, el clima cálido y húmedo acelera el deterioro de los materiales.

Estas deficiencias generan riesgos significativos, particularmente en áreas urbanas con alta densidad poblacional, donde la funcionalidad de los sistemas contra incendios es crítica para la seguridad.

1.3 A nivel local (costa ecuatoriana):

En la costa ecuatoriana, específicamente en ciudades como Guayaquil, Samborondón, Manta y Salinas, las plazas comerciales y otras edificaciones de alta concurrencia dependen de cisternas de hormigón armado para el suministro de agua en sistemas contra incendios. Sin embargo, estas infraestructuras enfrentan desafíos específicos:

- **Clima costero adverso:** La combinación de altas temperaturas, humedad constante y salinidad en el ambiente acelera la corrosión de las estructuras de hormigón armado, debilitando su resistencia con el tiempo.
- **Crecimiento desordenado:** El rápido desarrollo urbano en la costa ecuatoriana ha llevado a la construcción de edificaciones comerciales sin una planificación adecuada para los sistemas contra incendios, incluyendo cisternas con capacidades insuficientes o diseños inadecuados para las demandas locales.

- **Falta de mantenimiento:** En muchas plazas comerciales, las inspecciones y reparaciones necesarias no se realizan con la frecuencia adecuada, lo que genera un deterioro progresivo y aumenta el riesgo de fallas en situaciones de emergencia.
- **Problemas operativos:** Las deficiencias en el diseño hidráulico y el uso de equipos de bombeo de baja calidad afectan la capacidad de distribución eficiente del agua almacenada.

Estos problemas evidencian la necesidad de realizar estudios detallados que permitan identificar las causas específicas de las deficiencias y proponer soluciones que optimicen el desempeño de las cisternas de hormigón armado en sistemas contra incendios.

En el caso específico de la plaza comercial Almax Center, ubicada en el km 14.5 de la vía a Samborondón, se desconoce si la cisterna de hormigón armado cumple con los requisitos técnicos, normativos y operativos necesarios para responder eficazmente ante situaciones de emergencia. Esta falta de información representa un riesgo significativo tanto para los usuarios del establecimiento como para la infraestructura del lugar, aumentando la vulnerabilidad ante posibles siniestros.

La incertidumbre respecto al desempeño estructural y funcional de la cisterna, sumada a la ausencia de un análisis técnico actualizado, hace imprescindible una evaluación exhaustiva de su estado actual. Esto incluye identificar posibles deficiencias estructurales, evaluar su capacidad de respuesta ante cargas y demandas propias de un sistema contra incendios, y proponer mejoras que optimicen su funcionamiento. Resolver esta problemática permitirá minimizar riesgos, garantizar el cumplimiento de normativas de seguridad y fortalecer la capacidad de respuesta del sistema contra incendios en la plaza comercial.

1.4 Justificación

El análisis estructural de las cisternas de hormigón armado destinadas a sistemas contra incendios en plazas comerciales constituye una necesidad fundamental, especialmente en áreas de alta concurrencia como el km 14.5 vía a Samborondón, donde el crecimiento urbano y la densidad poblacional han incrementado las demandas de seguridad. Estas infraestructuras son esenciales para garantizar la respuesta rápida y eficaz frente a incendios, minimizando riesgos para las vidas humanas y los bienes materiales. Sin embargo, la funcionalidad de estas cisternas puede verse comprometida por diversas deficiencias estructurales y operativas.

Factores como diseños inadecuados, materiales de baja calidad, exposición a condiciones adversas propias de la costa ecuatoriana (humedad, altas temperaturas y salinidad), y la falta de mantenimiento adecuado generan problemas como fisuras, filtraciones y corrosión de la armadura. Estas condiciones no solo afectan la capacidad de almacenamiento y distribución de agua, sino que también comprometen la durabilidad y seguridad del sistema contra incendios en su conjunto.

El contexto local, caracterizado por un crecimiento acelerado de la infraestructura comercial, carece en muchos casos de una planificación rigurosa que considere la normativa técnica aplicable y las condiciones ambientales específicas. Este escenario evidencia una brecha crítica que debe abordarse para garantizar la protección de las edificaciones, los usuarios y los bienes.

Desde el punto de vista técnico, el uso de herramientas como SAP2000 para modelado y simulación estructural permite analizar el comportamiento de las cisternas bajo diferentes cargas y escenarios, identificando puntos críticos que requieren intervención. Además, una evaluación exhaustiva de las normativas de seguridad aplicables asegura que las propuestas de mejora no solo resuelvan las deficiencias actuales, sino que también cumplan con los estándares técnicos y legales necesarios.

Esta investigación no solo contribuirá a mejorar la infraestructura analizada, optimizando su desempeño operativo y estructural, sino que también servirá como referencia para la evaluación y mejora de sistemas similares en la región. De esta manera, se fortalece la seguridad general de las edificaciones comerciales, se minimizan los riesgos frente a emergencias y se fomenta un enfoque sostenible que asegure la operatividad del sistema a largo plazo.

1.5 Alcance del proyecto

El alcance de la presente tesis se centra en el análisis estructural de una cisterna para un sistema contra incendios en una plaza comercial utilizando herramientas computacionales avanzadas, como SAP2000, para modelar y simular el comportamiento estructural de la cisterna bajo diferentes condiciones de carga estática y dinámica. Este modelado incluirá el análisis detallado de las fuerzas internas, deformaciones, estados de esfuerzo, y la evaluación de puntos críticos en la estructura que puedan comprometer su integridad y funcionalidad. Adicionalmente, se realizarán cálculos estructurales complementarios para verificar la capacidad de la cisterna en función de las normativas técnicas aplicables.

El proyecto abarca una evaluación integral que inicia con la revisión de los planos estructurales y documentos técnicos existentes para comprender las condiciones iniciales de diseño y

construcción. Posteriormente, se realizarán inspecciones técnicas in situ para identificar problemas visibles, tales como fisuras, filtraciones, corrosión de la armadura y otros deterioros característicos del hormigón armado expuesto a condiciones ambientales adversas, como humedad, salinidad y riesgos sísmicos, propios de la costa ecuatoriana.

Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de normativas locales e internacionales, como las establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y la National Fire Protection Association (NFPA), para garantizar que las propuestas de mejora cumplan con los estándares técnicos y legales correspondientes.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Evaluar la infraestructura de una cisterna de hormigón armado utilizada en un sistema de protección contra incendios en el cantón Samborondón provincia del Guayas, mediante el software de elementos finitos SAP 2000 bajo la normativa ecuatoriana de construcción, para evaluar la resistencia y estabilidad del tanque, asegurando que el sistema cumpla con los requisitos de funcionalidad.

1.6.2 Objetivos específicos

- Analizar la capacidad de la cisterna para mantener su estabilidad frente a fuerzas externas, como presiones hidrostáticas, cargas del terreno y fuerzas sísmicas, mediante el cálculo detallado de los momentos de volcamiento y su comparación con los momentos resistentes del diseño.
- Realizar una simulación de las cargas estáticas y dinámicas aplicadas a la cisterna de hormigón armado, mediante una evaluación de su comportamiento estructural bajo estas condiciones, para asegurar que la estructura sea capaz de soportar de manera efectiva las presiones y esfuerzos durante situaciones extremas.
- Realizar un análisis estructural integral de la cisterna de hormigón armado utilizando el software SAP2000 para calcular los esfuerzos internos, con el propósito de identificar los puntos críticos de la estructura bajo diferentes combinaciones de cargas, asegurando que los esfuerzos se mantengan dentro de los límites establecidos por las normativas vigentes.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico referencial

La plaza comercial Almax Center es un espacio de alta concurrencia, lo que incrementa la importancia de contar con un sistema contra incendios eficiente. Evaluar la cisterna de hormigón armado de esta plaza es esencial para garantizar que cumpla con los requisitos normativos y operativos necesarios, identificando deficiencias y planteando mejoras que fortalezcan la seguridad del establecimiento y reduzcan riesgos en caso de emergencias. Este análisis no solo busca asegurar la protección de los usuarios y los bienes, sino también ofrecer un modelo de referencia para la evaluación y optimización de sistemas similares en otras edificaciones comerciales.

2.2 Fundamentos teóricos

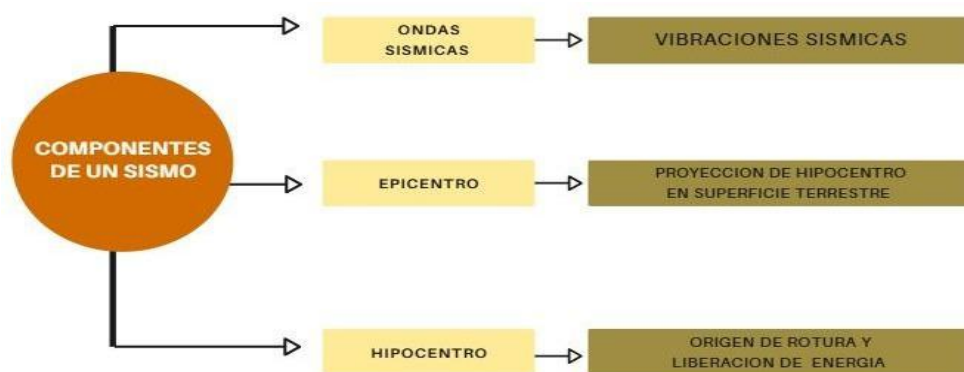
2.2.1 Sismos

Un sismo, también conocido como terremoto, es un fenómeno natural causado por la liberación repentina de energía acumulada en el interior de la corteza terrestre debido al movimiento de las placas tectónicas. Esta liberación genera ondas sísmicas que se propagan a través de la Tierra y producen vibraciones en la superficie. Los sismos se clasifican según su origen en tectónicos (por el movimiento de placas), volcánicos (asociados a la actividad volcánica) y de colapso (relacionados con derrumbes).

2.2.2 Componentes de un sismo

Figura 1.

Componentes de un sismo



Magnitud e Intensidad de un sismo

Figura 2.

Intensidad de un sismo



2.2.3 Registros Sísmicos en Ecuador

Ecuador es un país con alta actividad sísmica debido a su ubicación en el límite convergente entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, donde la subducción de la primera bajo la segunda genera una gran cantidad de eventos sísmicos. Este entorno tectónico, sumado a la presencia de fallas locales y regionales, da lugar a terremotos superficiales y profundos que han sido registrados y analizados extensivamente por instituciones nacionales e internacionales. Los registros sísmicos son esenciales para comprender la dinámica tectónica del país, diseñar infraestructuras resilientes y desarrollar sistemas de alerta temprana.

La actividad sísmica en Ecuador tiene tres fuentes principales: la zona de subducción, las fallas corticales y la interacción de volcanes activos. La subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, con una tasa de convergencia aproximada de 61 mm/año, es responsable de sismos de gran magnitud, como el terremoto de 1906 (M 8.8), que generó un tsunami devastador. Las fallas corticales dentro de la placa continental producen terremotos superficiales que afectan áreas pobladas, como el terremoto de Ambato en 1949 (M 6.8). Adicionalmente, la actividad volcánica contribuye a la sismicidad, generando enjambres sísmicos y explosiones locales.

Figura 3.

Eventos sísmicos en el Ecuador



Instituciones como el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) lideran el monitoreo sísmico en Ecuador mediante una red sismológica distribuida por todo el país. Esta red permite registrar en tiempo real la ubicación, magnitud y profundidad de los sismos. Los datos del IGEPN se complementan con los registros del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y otras agencias internacionales, proporcionando un panorama integral de la sismicidad. ((IGEPN)., s.f.)

2.2.4 Sismos y su impacto en estructuras

Los sismos generan fuerzas dinámicas que actúan directamente sobre las estructuras debido a la aceleración del terreno, la cual induce inercia en las edificaciones. La respuesta estructural ante un evento sísmico está influenciada por factores como el diseño, los materiales empleados, la altura, la masa, la rigidez y el amortiguamiento de la estructura. En el caso específico de las cisternas de hormigón armado, estas presentan particularidades que deben ser cuidadosamente consideradas para garantizar su desempeño adecuado bajo condiciones sísmicas. (Chopra, 2017)

La interacción suelo-estructura juega un papel fundamental, ya que la rigidez del suelo influye significativamente en el comportamiento dinámico de la cisterna, afectando su estabilidad y capacidad de resistir las cargas inducidas. Además, el agua contenida en la cisterna introduce fuerzas hidrodinámicas debido a su movimiento durante un sismo. Estas cargas dinámicas adicionales ejercen presión sobre las paredes y la base de la estructura, aumentando las demandas estructurales. Por último, la frecuencia natural de vibración de la cisterna es un factor crítico, ya que, si coincide con la frecuencia del sismo, puede ocurrir resonancia, amplificando las deformaciones y los daños estructurales. Estos aspectos resaltan la importancia de un diseño sísmico adecuado para garantizar la seguridad y funcionalidad de estas infraestructuras esenciales. (Humar, 2012)

2.2.5 Ejemplos de fallas estructurales en cisternas durante eventos sísmicos en Ecuador

2.2.6 Terremoto de Esmeraldas (1906, M 8.8)

Este fue uno de los eventos sísmicos más fuertes registrados en Ecuador. Aunque la documentación técnica de la época es limitada, se sabe que muchas estructuras de almacenamiento de agua colapsaron debido a la falta de diseño adecuado para cargas dinámicas.

- **Fallas observadas:**

- Fisuración severa en las paredes debido a la falta de refuerzo estructural.
- Fallos en las juntas y conexiones, lo que provocó pérdida masiva de agua.
- Deslizamientos de terreno que afectaron cisternas enterradas y semi-enterradas.

2.2.7 Terremoto de Ambato (1949, M 6.8)

Este sismo causó daños significativos en la infraestructura de la región central de Ecuador, incluidas cisternas utilizadas para abastecimiento de agua potable y riego.

- **Fallas observadas:**

- Desprendimiento de recubrimientos protectores en cisternas de hormigón, exponiendo el acero de refuerzo a la corrosión.
- Colapsos parciales en las cubiertas debido a la falta de refuerzo transversal adecuado.
- Agrietamiento por esfuerzos de tracción en las paredes inferiores, derivado de la interacción suelo-estructura y las cargas hidrodinámicas.

2.2.8 Terremoto de Quito (1987, M 6.9)

El terremoto afectó severamente a la infraestructura urbana y rural en Quito y sus alrededores. Varias cisternas, principalmente aquellas ubicadas en terrenos inestables, sufrieron fallas estructurales.

- **Fallas observadas:**

- Pérdida de funcionalidad por fisuración extensa en las paredes internas, causada por presiones hidrodinámicas durante el sismo.
- Fallos en el sistema de sellado, lo que llevó a infiltraciones y fugas masivas de agua.
- Daños en los anclajes de las cisternas elevadas, provocando desplazamientos peligrosos.

2.2.9 Terremoto de Pedernales (2016, M 7.8)

Este evento sísmico devastador afectó principalmente a las provincias de Manabí y Esmeraldas. Las cisternas utilizadas en sistemas contra incendios y abastecimiento de agua en edificios comerciales e industriales experimentaron daños significativos.

- **Fallas observadas:**

- Colapsos parciales en cisternas elevadas debido a vibraciones inducidas por el movimiento sísmico.
- Agrietamientos en el fondo y las paredes laterales de cisternas enterradas, atribuidos a la interacción suelo-estructura y la falta de refuerzo adecuado.
- Desbordamientos de agua en cisternas con superficies libres grandes, causados por oscilaciones del líquido (sloshing).
- Separación de juntas entre elementos estructurales, lo que ocasionó pérdidas de agua y compromisos en la funcionalidad del sistema.

2.2.10 Sismos menores en zonas costeras (1998-2020)

En regiones costeras como Guayaquil y Manta, cisternas de edificios comerciales y residenciales han mostrado vulnerabilidades ante sismos moderados.

- **Fallas observadas:**

- Corrosión acelerada del acero de refuerzo debido a fisuras generadas por movimientos telúricos repetidos y exposición a ambientes salinos.
- Desplazamiento de estructuras enterradas en suelos poco consolidados.
- Micro fisuración acumulada que, con el tiempo, ha reducido la capacidad de las cisternas para almacenar agua de forma segura.

2.3 Diseño sísmico de estructuras

El diseño sísmico de estructuras es un enfoque esencial en la ingeniería estructural, cuyo objetivo principal es garantizar la seguridad, estabilidad y funcionalidad de las edificaciones y elementos estructurales frente a eventos sísmicos. Dada la naturaleza impredecible y destructiva de los sismos, el diseño debe considerar los efectos dinámicos que generan, asegurando que las estructuras puedan resistir las fuerzas inducidas y minimizar los riesgos para las personas y bienes.

Uno de los pilares del diseño sísmico es la resistencia, que se refiere a la capacidad de la estructura para soportar las fuerzas sísmicas sin colapsar. Esto implica calcular y diseñar los elementos estructurales de manera que puedan resistir tanto cargas estáticas como dinámicas, evitando fallos prematuros. Sin embargo, no basta con que una estructura sea resistente; también es fundamental que sea dúctil, es decir, que tenga la capacidad de deformarse de

manera plástica sin fracturarse o perder funcionalidad. La ductilidad es clave para disipar la energía liberada por un sismo y evitar fallos catastróficos. (Miranda & Aslani, 2003)

Otro aspecto crítico es la estabilidad, que se traduce en la capacidad de la estructura para mantener el equilibrio incluso ante grandes desplazamientos o deformaciones provocadas por el sismo. Esto incluye considerar efectos como el pandeo, torsión y desplazamientos relativos entre niveles, asegurando que la estructura no colapse de manera descontrolada. Además, el diseño debe incorporar redundancia, lo que significa que la estructura debe contar con múltiples caminos de carga. Esto permite que, en caso de que uno o más elementos estructurales fallen, otros componentes puedan asumir las cargas, evitando un colapso total.

El diseño sísmico no solo abarca la configuración y dimensionamiento de los elementos estructurales, sino también la selección de materiales adecuados, el análisis de la interacción suelo-estructura, y la inclusión de dispositivos especiales como amortiguadores y aisladores sísmicos, que pueden reducir significativamente las fuerzas transmitidas a la estructura. (Mander, 1988)

Finalmente, es fundamental que el diseño cumpla con normativas locales e internacionales, como las establecidas por el *American Concrete Institute* (ACI), la *National Fire Protection Association* (NFPA), y las especificaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Estas guías aseguran que las estructuras no solo sean funcionales, sino también seguras y duraderas, proporcionando un nivel de protección adecuado frente a los efectos destructivos de los sismos. Este enfoque integral del diseño sísmico es esencial para garantizar la resiliencia de las estructuras en regiones de alta actividad sísmica. (CONSTRUCCION (. N., 2014)

2.4 Diseño Sísmico de una Cisterna

El diseño sísmico de una cisterna busca garantizar su estabilidad, funcionalidad y seguridad frente a las fuerzas dinámicas generadas por un sismo, considerando las particularidades de este tipo de infraestructura destinada al almacenamiento de agua. Este diseño parte de un análisis detallado de las condiciones del sitio, evaluando la actividad sísmica de la región, la aceleración pico esperada, la intensidad sísmica y el tipo de suelo, factores clave para determinar las fuerzas que actuarán sobre la estructura.

La configuración de la cisterna, ya sea enterrada, semi-enterrada o elevada, influye significativamente en el comportamiento sísmico, ya que cada tipo está expuesto a diferentes

interacciones con el terreno y el fluido almacenado. Por ejemplo, las cisternas enterradas enfrentan presiones dinámicas del terreno, mientras que las elevadas deben soportar mayores fuerzas de inercia debido a su altura. Además, la interacción fluido-estructura es un aspecto crítico, ya que el agua contenida genera fuerzas hidrodinámicas adicionales durante un sismo, que deben considerarse en el análisis estructural.

El diseño se rige por normativas internacionales y locales, como el *American Concrete Institute (ACI 350)*, el *International Building Code (IBC)* y la *Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC)*, que establecen los criterios de seguridad y funcionalidad para infraestructuras sometidas a cargas sísmicas. Estas normativas exigen el cálculo preciso de las fuerzas inducidas, el refuerzo adecuado del hormigón y la implementación de medidas para controlar fisuras y prevenir fallos estructurales.

El diseño sísmico de una cisterna incluye un análisis detallado mediante herramientas computacionales, como SAP2000, para simular su comportamiento dinámico bajo diferentes escenarios sísmicos. Esto permite identificar puntos críticos, optimizar el refuerzo y garantizar que la estructura pueda soportar las fuerzas generadas por el movimiento del terreno y del agua, asegurando su funcionalidad y durabilidad a largo plazo. Este enfoque integral minimiza riesgos y protege tanto la infraestructura como su capacidad de respuesta en situaciones de emergencia.

2.5 Sistema contra incendios

Los sistemas contra incendios son conjuntos de dispositivos, equipos e infraestructuras diseñados para detectar, controlar y extinguir incendios, protegiendo vidas humanas, bienes materiales y la integridad de las edificaciones. Su implementación es esencial en edificios residenciales, comerciales e industriales.

Estos sistemas se clasifican en tres categorías principales: detección, alarma y extinción. Los sistemas de detección incluyen dispositivos como detectores de humo, calor y llamas, que alertan sobre la presencia de un incendio en sus etapas iniciales. Los sistemas de alarma permiten notificar a los ocupantes mediante sirenas, luces estroboscópicas o mensajes de voz, facilitando una evacuación segura. Por último, los sistemas de extinción comprenden equipos como rociadores automáticos, hidrantes, extintores portátiles y sistemas especializados como

espuma, dióxido de carbono o agentes limpios, diseñados para apagar el fuego según su clase (A, B, C, D, K).

Un componente crucial en muchos sistemas contra incendios es la cisterna de almacenamiento de agua, que asegura un suministro constante para alimentar rociadores, mangueras y otros dispositivos. Estas cisternas, generalmente de hormigón armado, deben ser diseñadas para resistir cargas hidrostáticas, hidrodinámicas y otros factores como sismos, garantizando su operatividad en situaciones de emergencia.

La integración de tecnología avanzada, como sistemas de monitoreo remoto y automatización, permite una gestión más eficiente de los sistemas contra incendios, mejorando su capacidad de respuesta. Además, su diseño e instalación deben cumplir con normativas locales e internacionales, asegurando su eficacia y adecuación a los riesgos específicos de cada edificación. (Cote & Bugbee, 2008)

2.6 Tipos de Sistemas Contra Incendios

Los sistemas contra incendios son conjuntos de equipos y tecnologías diseñados para detectar, controlar y extinguir incendios, garantizando la seguridad de los ocupantes y la protección de bienes materiales e infraestructuras. Dependiendo de su función y del tipo de edificación, estos sistemas pueden incluir hidrantes, rociadores automáticos, y bombas contra incendios, que trabajan en conjunto para ofrecer una respuesta eficiente en caso de emergencia.

Tipos de sistemas contra incendios.



2.7 Sistemas contra incendios en edificaciones comerciales

Los sistemas contra incendios en edificaciones comerciales son esenciales para garantizar la seguridad de las personas, proteger bienes materiales y minimizar el impacto de un incendio en la operación del negocio. Estos sistemas están diseñados para prevenir, detectar, controlar y extinguir incendios, además de facilitar una evacuación segura en caso de emergencia.

Un sistema contra incendios en una edificación comercial generalmente combina varias tecnologías y equipos que se integran para ofrecer una protección efectiva. Entre los principales componentes se incluyen los sistemas de detección, como detectores de humo, calor y llamas, que permiten identificar un incendio en sus etapas iniciales y alertar a los ocupantes mediante sistemas de alarma. Las alarmas se comunican a través de sirenas, luces estroboscópicas o sistemas de notificación por voz, garantizando que las personas tengan suficiente tiempo para evacuar de manera segura. (Bryan, Fire Suppression and Detection Systems., 2002)

En cuanto al control y extinción del fuego, las edificaciones comerciales suelen emplear sistemas automáticos de supresión, como los rociadores, que liberan agua o agentes específicos

para extinguir el fuego de manera rápida y eficiente. También se instalan hidrantes internos y externos que permiten a los bomberos acceder a un suministro constante de agua para combatir el incendio. Los extintores portátiles se distribuyen estratégicamente en el edificio para facilitar la respuesta inmediata de los ocupantes.

Un aspecto crítico de los sistemas contra incendios en edificaciones comerciales es el suministro de agua. Muchas edificaciones cuentan con cisternas o tanques de almacenamiento diseñados específicamente para proporcionar un suministro constante de agua a los sistemas de rociadores y a los hidrantes. Estos tanques deben tener suficiente capacidad para garantizar una respuesta prolongada durante emergencias. Las bombas contra incendios, por su parte, son responsables de mantener la presión adecuada en el sistema, asegurando que el agua llegue a los puntos de aplicación con la fuerza necesaria.

Además, las edificaciones comerciales suelen incorporar sistemas avanzados de monitoreo y control que permiten supervisar el estado de los equipos en tiempo real. Estas tecnologías facilitan la detección de fallos, como problemas en las bombas o disminución en los niveles de agua, permitiendo un mantenimiento preventivo y correctivo oportuno.

2.8 Función y componentes esenciales de los sistemas contra incendios.

Los sistemas contra incendios tienen como función principal prevenir, detectar, controlar y extinguir incendios para proteger la vida de las personas, los bienes materiales y la infraestructura. Además, contribuyen a minimizar los daños, reducir el riesgo de propagación y garantizar la continuidad operativa de los establecimientos, especialmente en lugares de alta concurrencia como edificaciones comerciales. Para cumplir con estos objetivos, los sistemas deben detectar los incendios en sus etapas iniciales, alertar a los ocupantes, activar mecanismos de control y supresión, y evitar daños críticos en la infraestructura.

Un sistema contra incendios está compuesto por diversos elementos interconectados que trabajan en conjunto. Entre los **sistemas de detección**, destacan los detectores de humo, calor y llama, que identifican señales de un incendio inminente. Estos dispositivos activan los **sistemas de alarma**, que incluyen sirenas, luces estroboscópicas y sistemas de notificación por voz para alertar a los ocupantes y facilitar la evacuación. Los paneles de control centralizan la gestión del sistema de detección y alarma. (Jiménez & Rodríguez, 2019)

En cuanto a los **sistemas de extinción**, los rociadores automáticos son fundamentales para controlar incendios de manera localizada, mientras que los hidrantes internos y externos permiten a los bomberos acceder a un suministro constante de agua. Los extintores portátiles son herramientas indispensables para combatir incendios en su etapa inicial, y los sistemas especiales, como los que utilizan espuma, dióxido de carbono o gases limpios, están diseñados para proteger áreas sensibles o de alta especialización.

El **suministro de agua** es otro componente crítico. Las cisternas o tanques de almacenamiento aseguran una cantidad suficiente de agua para alimentar el sistema, mientras que las bombas contra incendios mantienen la presión adecuada en la red. Las tuberías de distribución transportan el agua hacia los puntos de aplicación, garantizando su disponibilidad en todo momento.

Por último, los **sistemas de control y monitoreo** desempeñan un papel esencial en la supervisión y gestión de los sistemas contra incendios. Los paneles centralizados, sensores de flujo y presión, y sistemas de monitoreo remoto permiten detectar fallos, supervisar el estado de los equipos y optimizar la respuesta ante emergencias.

La correcta integración y mantenimiento de estos componentes asegura que el sistema contra incendios funcione de manera eficiente, respondiendo rápidamente a las emergencias y minimizando los riesgos. En edificaciones comerciales, donde el flujo de personas es elevado, contar con un sistema bien diseñado y operativo es indispensable para garantizar la seguridad y la protección integral del inmueble. (Marsh, 2016)

2.9 Diseño hidráulico de cisternas y su interacción con sistemas contra incendios.

El diseño hidráulico de cisternas es un elemento esencial en los sistemas contra incendios, ya que asegura el almacenamiento y suministro adecuado de agua en emergencias. En edificaciones comerciales, como plazas de alta concurrencia, una cisterna bien diseñada garantiza una respuesta efectiva frente a incendios, protegiendo la seguridad de los usuarios y los bienes materiales.

El diseño hidráulico debe comenzar con la determinación de la capacidad de almacenamiento, que debe ser suficiente para alimentar los sistemas de extinción, como rociadores automáticos, hidrantes y mangueras, durante el tiempo necesario para controlar un incendio. Esta capacidad se calcula considerando el área a proteger, la demanda del sistema y el tiempo de respuesta

esperado de los bomberos. Además, la ubicación estratégica de la cisterna es crucial para facilitar un acceso eficiente al suministro de agua y optimizar la presión en la red.

Las cisternas deben incluir componentes hidráulicos básicos, como válvulas de entrada y salida, sistemas de ventilación, rebosaderos y drenajes, diseñados para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. También es importante prever un sistema de bombeo que mantenga la presión adecuada para que el agua alcance los puntos de extinción con la fuerza requerida. La integración de sensores de nivel y flujo permite monitorear continuamente la disponibilidad de agua y prevenir interrupciones en el suministro.

La interacción entre la cisterna y el sistema contra incendios depende del diseño adecuado de las **redes de distribución**, que transportan el agua desde la cisterna hasta los rociadores, hidrantes y otros puntos de aplicación. Estas redes deben ser dimensionadas para minimizar las pérdidas de presión y garantizar que cada dispositivo reciba el caudal necesario. En sistemas más complejos, como los que protegen grandes áreas comerciales, se puede integrar un sistema redundante para asegurar la continuidad del suministro en caso de fallo.

El diseño también debe considerar factores como la impermeabilización de la cisterna, para evitar filtraciones, y la resistencia estructural, para soportar cargas hidrostáticas y dinámicas, especialmente en regiones sísmicas. Además, la ubicación de la cisterna debe prever su fácil acceso para inspecciones y mantenimiento. (Patterson, 2013)

2.10 Capacidad de almacenamiento: demanda de agua en emergencias.

La capacidad de almacenamiento de agua en una cisterna es un factor crítico para garantizar la operatividad de los sistemas contra incendios en situaciones de emergencia. Esta capacidad debe ser cuidadosamente calculada para satisfacer la demanda de agua necesaria durante el tiempo requerido para controlar un incendio, minimizando riesgos y daños en edificaciones comerciales, industriales o residenciales.

El cálculo de la capacidad de almacenamiento depende de varios factores, entre ellos el tipo de edificación, el área que debe protegerse, la cantidad de equipos contra incendios que operarán simultáneamente y el tiempo estimado de intervención de los servicios de emergencia. En edificaciones comerciales, como plazas o centros comerciales, donde la concurrencia de

personas es alta y los riesgos asociados a un incendio son mayores, la cisterna debe tener un volumen suficiente para alimentar sistemas como hidrantes, rociadores automáticos y mangueras, incluso en condiciones de alta demanda. (McGuire, 2015)

Los sistemas contra incendios, como los rociadores automáticos, suelen requerir un caudal continuo para garantizar la extinción efectiva del fuego. Este caudal, junto con el tiempo de operación estimado, se utiliza para determinar el volumen de agua necesario. Por ejemplo, una cisterna debe garantizar el suministro ininterrumpido de agua durante al menos 30 a 60 minutos, dependiendo de las normativas aplicables y el tipo de sistema instalado.

Además, es importante considerar la redundancia en el diseño, asegurando fuentes de agua adicionales, como conexiones a redes municipales o pozos, en caso de que el suministro principal falle. Las bombas contra incendios desempeñan un papel crucial en este sistema, ya que garantizan la presión y el flujo adecuado para distribuir el agua almacenada a los diferentes puntos de extinción.

Un diseño inadecuado de la capacidad de almacenamiento puede comprometer la eficacia del sistema contra incendios, exponiendo a los ocupantes y a la infraestructura a riesgos significativos. Por lo tanto, es fundamental realizar un análisis detallado y cumplir con las normativas locales e internacionales para garantizar que la cisterna pueda satisfacer las demandas de agua durante emergencias, proporcionando una respuesta efectiva y protegiendo vidas y bienes. (González, 2017)

2.11 Importancia del suministro constante de agua en la eficiencia del sistema contra incendios

El suministro constante de agua es un componente esencial para la eficiencia y operatividad de los sistemas contra incendios. Este recurso garantiza que los dispositivos clave, como hidrantes, rociadores automáticos y bombas, funcionen de manera adecuada durante una emergencia, permitiendo controlar y extinguir el fuego con rapidez. Sin un flujo continuo y suficiente de agua, los sistemas no pueden cumplir su propósito, lo que compromete la seguridad de los ocupantes, los bienes materiales y la infraestructura.

El agua desempeña un papel fundamental en los sistemas contra incendios, ya que actúa como agente extintor al enfriar las llamas, reducir la temperatura del entorno y evitar la propagación

del fuego. En los rociadores automáticos, el agua se libera directamente sobre el área afectada, mientras que en los hidrantes y mangueras se utiliza manualmente para combatir incendios de mayor magnitud. Para que estas funciones sean efectivas, el suministro de agua debe garantizar una presión y un caudal adecuados. Una presión insuficiente puede impedir que el agua alcance las áreas afectadas, especialmente en edificios altos, mientras que un caudal bajo puede limitar la capacidad de los sistemas para responder a emergencias simultáneas.

El suministro continuo de agua depende de componentes críticos como cisternas de almacenamiento y bombas contra incendios. Las cisternas aseguran un volumen adecuado de agua disponible, incluso en situaciones donde el suministro municipal es limitado o inconstante. Por su parte, las bombas son responsables de mantener la presión necesaria en la red de distribución, permitiendo que el agua llegue a los puntos de aplicación con la fuerza requerida. La inoperatividad de cualquiera de estos elementos puede tener consecuencias graves, como la pérdida de control sobre el fuego, daños materiales significativos y riesgos para la vida de los ocupantes.

La interrupción del suministro de agua durante una emergencia puede ser catastrófica. Sin agua suficiente, los rociadores automáticos, hidrantes y mangueras pierden su funcionalidad, dejando al edificio sin protección y permitiendo que el fuego se propague rápidamente. Para evitar estas situaciones, es fundamental implementar medidas como el diseño adecuado de cisternas con capacidad suficiente para abastecer al sistema durante el tiempo necesario, el uso de bombas confiables (eléctricas o diésel) capaces de operar en condiciones adversas, y la redundancia en el sistema, mediante la incorporación de fuentes alternativas de agua, como redes municipales o pozos.

Un mantenimiento regular también es clave para garantizar la operatividad del sistema. Las inspecciones periódicas permiten identificar problemas en las cisternas, las bombas o las tuberías, asegurando que todo el sistema esté preparado para responder ante emergencias. En conclusión, el suministro constante de agua es vital para la eficiencia de los sistemas contra incendios, ya que garantiza la protección de vidas, bienes y la infraestructura frente a los riesgos de un incendio.

2.12 Integración de sistemas de detección y supresión en edificaciones comerciales.

La integración de sistemas de detección y supresión de incendios en edificaciones comerciales es fundamental para garantizar la seguridad de los ocupantes, la protección de los bienes materiales y la continuidad operativa del establecimiento. Estos sistemas trabajan de manera conjunta para identificar incendios en sus etapas iniciales, notificar a los ocupantes y activar los mecanismos necesarios para controlar y extinguir el fuego, reduciendo riesgos y daños.

Los **sistemas de detección** son el primer componente de la protección contra incendios, encargados de identificar la presencia de humo, calor o llamas. Entre los dispositivos más utilizados se encuentran los detectores de humo, que reaccionan a partículas de combustión en el aire; los detectores de calor, que se activan con un aumento significativo de temperatura; y los detectores de llama, que identifican radiación ultravioleta o infrarroja generada por el fuego. Estos sistemas están conectados a paneles de alarma centralizados que, al activarse, alertan a los ocupantes mediante sirenas, luces estroboscópicas o sistemas de notificación por voz, facilitando la evacuación segura del edificio. (Bryan, Fire Suppression and Detection Systems., 2002)

Por otro lado, los **sistemas de supresión de incendios** están diseñados para controlar y extinguir el fuego de manera rápida y efectiva. En edificaciones comerciales, los rociadores automáticos son una de las soluciones más eficientes, ya que se activan automáticamente al detectar altas temperaturas y liberan agua directamente sobre el área afectada, evitando la propagación del fuego. Además, los hidrantes internos y externos proporcionan agua presurizada para el uso de bomberos y personal capacitado, mientras que sistemas especializados, como los de espuma, dióxido de carbono o gases limpios, se utilizan en áreas críticas donde el agua podría dañar equipos sensibles.

La integración efectiva de estos sistemas asegura una respuesta coordinada ante emergencias. Los sistemas de detección activan automáticamente los de supresión al mismo tiempo que notifican a los ocupantes y a los servicios de emergencia, minimizando los tiempos de reacción. Esta integración no solo mejora la eficacia en el control de incendios, sino que también aumenta la seguridad de los usuarios y reduce los daños materiales, garantizando la protección integral de las edificaciones comerciales. (Chitty, 2017)

2.13 Cisternas de hormigón armado

“(Bouzelha, 2019)” Indica que las cisternas de **hormigón armado (HA)** ocupan un lugar destacado dentro de las estructuras hidráulicas de la ingeniería civil. Estas construcciones están sometidas a cargas hidrostáticas e hidrodinámicas, lo que genera tensiones de tracción horizontales en sus paredes, que son absorbidas por las armaduras horizontales. Además, estas estructuras se enfrentan a condiciones atmosféricas agresivas que incrementan el riesgo de corrosión en sus paredes, lo que resulta en una reducción de las secciones de refuerzo de acero. Esta degradación compromete tanto la resistencia como la funcionalidad de los tanques.

Las cisternas de hormigón armado son estructuras diseñadas para almacenar grandes volúmenes de agua, destinadas en este caso a sistemas contra incendios. Este material es ampliamente utilizado debido a su alta resistencia a cargas permanentes, su durabilidad y su capacidad para adaptarse a diferentes formas y dimensiones según las necesidades del proyecto.

Las principales características de las cisternas de hormigón armado incluyen:

- **Resistencia estructural:** La combinación de hormigón y acero permite soportar cargas hidráulicas, geotécnicas y estructurales.
- **Impermeabilidad:** Es fundamental garantizar que las juntas y las superficies sean herméticas para evitar filtraciones de agua.
- **Durabilidad:** El diseño debe considerar el desgaste por tiempo, el ataque químico del agua y posibles condiciones adversas del terreno.

Las deficiencias estructurales en estas cisternas pueden derivar de un diseño inadecuado, fallas en la ejecución de la obra, o la falta de mantenimiento, lo que genera problemas como fisuras, corrosión del refuerzo y pérdida de capacidad operativa.

2.14 Ventajas del Hormigón Armado en Estructuras Hidráulicas

El hormigón armado es ampliamente utilizado en la construcción de estructuras hidráulicas, como cisternas, tanques de almacenamiento y canales, debido a sus numerosas ventajas en términos de resistencia, durabilidad y versatilidad. Su capacidad para soportar las demandas específicas de estas infraestructuras lo convierte en una opción confiable y eficiente.

Una de las principales ventajas del hormigón armado es su **resistencia estructural**, ya que combina la capacidad del hormigón para resistir cargas de compresión con la capacidad del

acero de refuerzo para soportar esfuerzos de tracción. Esta combinación permite que las estructuras hidráulicas resistan las presiones internas generadas por el agua almacenada (cargas hidrostáticas) y las fuerzas externas, como el peso del terreno circundante, cargas gravitatorias y las cargas dinámicas ocasionadas por eventos sísmicos.

Además, el hormigón armado destaca por su **durabilidad**, siendo altamente resistente al deterioro causado por la exposición constante a la humedad, el agua almacenada y las variaciones ambientales. Esto reduce significativamente los costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de las estructuras. Su resistencia a la corrosión, especialmente cuando se utilizan recubrimientos adecuados y aditivos impermeabilizantes, asegura que las armaduras metálicas estén protegidas de la oxidación. (Morales, 2008)

La impermeabilidad es otra ventaja clave, ya que el hormigón armado, correctamente diseñado y tratado, evita filtraciones que puedan comprometer la eficiencia de las estructuras hidráulicas. Esto es esencial en sistemas como cisternas y tanques, donde la pérdida de agua no solo afecta la operatividad, sino que también representa un riesgo para la integridad de la infraestructura.

En términos de versatilidad, el hormigón armado permite moldear estructuras en diversas formas y tamaños, adaptándose a las necesidades específicas de cada proyecto hidráulico. Esto facilita la construcción de cisternas rectangulares, circulares o con diseños más complejos, optimizando el uso del espacio y los recursos. (Crespo, 2015)

2.15 Propiedades mecánicas del hormigón y el acero de refuerzo.

El hormigón y el acero de refuerzo son los materiales principales en las estructuras de hormigón armado debido a sus propiedades mecánicas complementarias, que permiten a estas estructuras resistir diversas condiciones de carga, asegurando estabilidad, funcionalidad y durabilidad a lo largo de su vida útil.

El **hormigón** es un material compuesto por cemento, agregados, agua y, en algunos casos, aditivos químicos, cuyas propiedades mecánicas dependen de su diseño y proceso de fabricación. Su principal característica es la **resistencia a la compresión**, que varía entre 20 y 60 MPa en aplicaciones estándar, pudiendo superar los 100 MPa en concretos de alta resistencia. Esta propiedad lo hace ideal para soportar cargas gravitatorias y fuerzas generadas por el peso de la estructura. Sin embargo, su **resistencia a la tracción** es considerablemente

menor, aproximadamente el 10% de su resistencia a la compresión, lo que lo hace propenso a fisuras bajo esfuerzos de tracción. Además, el hormigón presenta un **módulo de elasticidad** que oscila entre 20 y 40 GPa, influyendo en su capacidad de deformarse bajo carga. Su **durabilidad** depende de factores como la proporción de materiales, el proceso de curado y el uso de aditivos, lo que le permite resistir agentes químicos y condiciones ambientales adversas. La impermeabilidad y baja permeabilidad son también cruciales para prevenir la penetración de sustancias agresivas que puedan degradar el material. (Ghali A. &, 2000)

Por otro lado, el **acero de refuerzo** es un material dúctil que complementa las deficiencias del hormigón, especialmente en resistencia a la tracción. Su **alta resistencia a la tracción**, que varía entre 400 y 600 MPa para aceros corrugados estándar, lo convierte en un material esencial para absorber esfuerzos generados por cargas dinámicas y movimientos sísmicos. Además, el acero tiene un **módulo de elasticidad constante** de aproximadamente 200 GPa, lo que proporciona rigidez a las estructuras y asegura su estabilidad bajo diferentes condiciones de carga. La **ductilidad** del acero permite que se deforme significativamente antes de fallar, lo que es crucial para disipar energía durante eventos como terremotos, reduciendo el riesgo de colapso catastrófico. La adherencia entre el acero y el hormigón, mejorada por la textura corrugada del refuerzo, garantiza una transferencia eficiente de cargas entre ambos materiales, asegurando su comportamiento conjunto.

La combinación del hormigón y el acero en el hormigón armado maximiza las ventajas de ambos materiales. Mientras el hormigón proporciona resistencia a la compresión y durabilidad frente a condiciones ambientales, el acero refuerza la estructura frente a esfuerzos de tracción, flexión y cortante. Esta interacción permite que las estructuras de hormigón armado sean altamente resistentes, seguras y versátiles, adaptándose a diversas aplicaciones en la ingeniería civil. Las propiedades mecánicas de ambos materiales deben ser cuidadosamente evaluadas durante el diseño y construcción para garantizar el desempeño óptimo de la estructura a lo largo del tiempo. (Mehta, 2014)

2.16 Impacto de la durabilidad y la impermeabilidad en el rendimiento de la cisterna.

La durabilidad y la impermeabilidad son factores clave que determinan el rendimiento y la vida útil de una cisterna de hormigón armado, especialmente en su función como componente esencial de sistemas contra incendios. Estas propiedades garantizan que la cisterna pueda soportar las condiciones de carga, el paso del tiempo y la exposición ambiental sin comprometer su integridad estructural ni su capacidad de almacenamiento.

La **durabilidad** se refiere a la capacidad de la cisterna para resistir el deterioro provocado por agentes internos y externos, como la corrosión de las armaduras, las reacciones químicas en el hormigón y las variaciones de temperatura. Una cisterna durable puede mantener su desempeño estructural a lo largo del tiempo, evitando fallas como fisuras, desprendimientos o pérdida de resistencia. Para lograrlo, es fundamental utilizar materiales de alta calidad, aplicar técnicas constructivas adecuadas y garantizar un diseño que contemple la protección contra condiciones adversas, como ambientes salinos, humedad constante y movimientos sísmicos.

La **impermeabilidad**, por su parte, es crucial para evitar filtraciones de agua desde el interior o el ingreso de agentes agresivos desde el exterior, como cloruros o sulfatos. Las filtraciones no solo afectan la funcionalidad de la cisterna, sino que también aceleran el deterioro de los elementos estructurales, al facilitar la corrosión de las armaduras y la degradación del hormigón. La impermeabilidad se logra mediante un diseño adecuado del hormigón, incluyendo una baja relación agua-cemento, el uso de aditivos impermeabilizantes y la aplicación de revestimientos protectores en las superficies internas y externas de la cisterna.

El impacto de la durabilidad y la impermeabilidad en el rendimiento de una cisterna se traduce en su capacidad para mantener el agua almacenada de manera segura, garantizar la operatividad del sistema contra incendios y minimizar los costos de mantenimiento y reparaciones a lo largo del tiempo. Una cisterna que combina estas características no solo asegura su funcionalidad en condiciones normales, sino que también ofrece un rendimiento confiable en situaciones críticas, como emergencias por incendios o desastres naturales, protegiendo vidas, bienes e infraestructura. (Ghali & Favre, Hormigón Armado: Fundamentos y Técnicas de Diseño., 2000)

12.6 Factores de degradación: corrosión, fisuras y exposición ambiental

Las estructuras de hormigón armado, aunque resistentes y duraderas, están sujetas a diversos factores de degradación que pueden comprometer su funcionalidad y seguridad con el tiempo. Entre los más relevantes se encuentran la corrosión de las armaduras, las fisuras en el hormigón y los efectos de la exposición ambiental, los cuales actúan de forma individual o combinada, acelerando el deterioro estructural.

La **corrosión** de las armaduras ocurre cuando el acero de refuerzo pierde su integridad debido a procesos químicos o electroquímicos. Factores como la carbonatación del hormigón, que reduce su pH, y la infiltración de cloruros, común en ambientes marinos o industriales, son los principales causantes. La humedad y el oxígeno agravan el problema, generando productos expansivos que generan presiones internas en el hormigón, provocando fisuras y desprendimientos. La corrosión no solo debilita el acero, sino que también compromete la adherencia entre el refuerzo y el hormigón, reduciendo significativamente la capacidad estructural.

Figura 4.
Corrosión



Por otro lado, las **fisuras** son aberturas en el hormigón que pueden surgir por diversos motivos, como la retracción plástica durante el fraguado, las tensiones térmicas causadas por cambios bruscos de temperatura, o el exceso de cargas estructurales. Estas fisuras permiten la entrada de agentes agresivos, como agua, oxígeno, dióxido de carbono y cloruros, que aceleran la corrosión y deterioran la estructura. Si no se reparan a tiempo, las fisuras pueden comprometer la durabilidad y funcionalidad del hormigón.

Figura 5.
Fisuras en el tanque



La **exposición ambiental** también juega un papel crucial en la degradación del hormigón armado. En ambientes marinos, la alta concentración de cloruros en el aire y el agua salina acelera la corrosión. En áreas industriales, la presencia de ácidos y gases corrosivos ataca tanto al acero como al hormigón. Además, los ciclos de congelación y deshielo en climas fríos provocan expansiones internas que generan daños significativos, mientras que la radiación UV y las altas temperaturas en regiones cálidas pueden causar micro fisuras por dilataciones térmicas.

12.7 Análisis estructural en cisternas de hormigón armado

El análisis estructural de cisternas de hormigón armado es un proceso fundamental para garantizar su seguridad, durabilidad y funcionalidad dentro de un sistema contra incendios. Este análisis consiste en estudiar el comportamiento de la estructura frente a diversas condiciones de carga, tanto estáticas como dinámicas, con el objetivo de verificar su capacidad para resistir las demandas operativas y ambientales a las que estará sometida.

12.8 Métodos de Análisis Estructural para Cisternas de Hormigón Armado

El análisis estructural de cisternas de hormigón armado es fundamental para evaluar su comportamiento frente a diferentes condiciones de carga, garantizando su funcionalidad y seguridad. Entre los métodos más utilizados se encuentra el análisis estático, que evalúa las

cargas permanentes, como el peso propio de la estructura y el agua almacenada, y las cargas hidrostáticas generadas por la presión del agua. En el caso de cisternas enterradas o semienterradas, también se consideran las cargas del terreno, que incluyen las presiones horizontales ejercidas por el suelo circundante.

El análisis dinámico es crucial en regiones sísmicas, ya que evalúa las fuerzas generadas por movimientos telúricos. Este método considera las cargas hidrodinámicas impulsivas, que surgen del movimiento solidario del agua con las paredes de la cisterna, y las cargas hidrodinámicas convectivas, causadas por el movimiento oscilatorio del agua en la superficie libre. Además, se analizan los efectos inerciales inducidos por la aceleración sísmica en la estructura y el líquido. Herramientas computacionales como SAP2000 permiten realizar análisis dinámicos detallados, incluyendo espectros de respuesta, modos de vibración y simulaciones tiempo-historia.

El análisis no lineal es otro enfoque utilizado para evaluar el comportamiento estructural más allá del rango elástico, considerando deformaciones plásticas y fallos potenciales en el hormigón o el acero de refuerzo. Este método es útil para determinar la capacidad última de la estructura y simular su desempeño bajo cargas extremas. Por otro lado, el análisis de interacción suelo-estructura considera cómo las características del terreno afectan el comportamiento de la cisterna, siendo especialmente relevante para cisternas enterradas. Factores como la rigidez, densidad y presión del suelo influyen significativamente en las fuerzas aplicadas a la estructura. (Gómez Soberón, 2001)

El modelado computacional, a través de herramientas como SAP2000 es una técnica indispensable para simular el comportamiento estructural bajo diversas combinaciones de carga. Estos modelos permiten evaluar deformaciones, esfuerzos internos, modos de vibración y frecuencias naturales, además de optimizar el diseño estructural. Por último, el análisis hidromecánico combina el comportamiento del agua y la estructura bajo diferentes condiciones, considerando los efectos combinados de cargas hidrostáticas e hidrodinámicas, así como el impacto del movimiento del líquido durante eventos dinámicos. Estos métodos integrados son esenciales para garantizar el desempeño adecuado de cisternas de hormigón armado.

12.9 Condiciones de carga consideradas en el análisis

1. **Fuerzas estáticas:** Generadas principalmente por el peso del agua almacenada y el peso propio de la cisterna. Estas cargas ejercen presión uniforme sobre las paredes y el fondo de la cisterna, lo que puede generar esfuerzos de tracción y compresión en diferentes áreas de la estructura.
2. **Fuerzas dinámicas:** Incluyen cargas producidas por movimientos sísmicos, impactos externos o cambios bruscos en la presión del agua. En zonas de alta actividad sísmica, estas fuerzas tienen un impacto significativo en el diseño estructural, ya que pueden generar deformaciones importantes o incluso el colapso parcial o total de la cisterna.
3. **Cargas ambientales:** Factores como la temperatura, la humedad y la presencia de agentes químicos agresivos pueden afectar la resistencia y durabilidad del hormigón armado. La exposición prolongada a estos factores puede debilitar tanto el concreto como el acero de refuerzo. (Wight & MacGregor, 2009)

Figura 6.

Cisterna de hormigón armado



12.10 La presión que ejerce el agua en la cisterna

La presión que ejerce el agua dentro de una cisterna es el resultado del peso del líquido y actúa sobre las paredes, el fondo y cualquier superficie en contacto con el fluido. Este fenómeno, conocido como presión hidrostática, es un factor crucial en el diseño estructural de cisternas, ya que determina las fuerzas que la estructura debe soportar para garantizar su estabilidad y funcionalidad.

La presión hidrostática aumenta proporcionalmente con la profundidad, siendo mayor en el fondo de la cisterna y menor en la superficie. Este comportamiento ocurre porque las capas de agua más profundas soportan el peso de las capas superiores. La presión es uniforme en todas las direcciones dentro del fluido, pero la fuerza que genera sobre las paredes actúa perpendicularmente a las mismas. (Mott, 2006)

En el caso del fondo de la cisterna, la presión es uniforme si la base es plana, mientras que en las paredes laterales se genera una distribución triangular, con la máxima presión en la parte inferior y disminuyendo gradualmente hacia la superficie. Esta distribución de presiones influye directamente en los esfuerzos internos de la estructura, especialmente en las tensiones de tracción y compresión en el hormigón y el refuerzo.

El diseño estructural debe considerar esta presión hidrostática para garantizar que el espesor de las paredes y el refuerzo sean suficientes para resistir las fuerzas generadas por el agua. Adicionalmente, es importante prever el uso de recubrimientos impermeables o aditivos en el hormigón para evitar filtraciones que puedan comprometer la durabilidad de la cisterna.

La presión que ejerce el agua no solo es relevante en condiciones normales de operación, sino también en escenarios extremos, como durante un sismo, donde se generan fuerzas hidrodinámicas adicionales que amplifican las demandas sobre la estructura. Por lo tanto, una evaluación adecuada de la presión hidrostática y su interacción con otras cargas es fundamental para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la cisterna en el largo plazo. (Finnemore & Franzini, 2002)

12.11 Cargas hidrostáticas

Las cargas hidrostáticas son las fuerzas que un fluido en reposo ejerce sobre las superficies que lo contienen, como las paredes y el fondo de cisternas, tanques y presas. Estas cargas resultan del peso del fluido y aumentan proporcionalmente con la profundidad. En estructuras que almacenan agua, como cisternas de hormigón armado, las cargas hidrostáticas representan uno de los principales factores que deben considerarse en su diseño y análisis estructural. (Hibbeler, 2017)

La presión hidrostática se distribuye de manera uniforme en todas las direcciones dentro del fluido, pero su magnitud varía con la profundidad. Es mayor en los puntos más profundos del fluido y mínima en su superficie. Esto implica que las fuerzas que actúan sobre una estructura que contiene líquido no son constantes, sino que aumentan gradualmente desde la parte superior hacia la base.

La fuerza total ejercida por el fluido sobre una superficie, conocida como fuerza hidrostática, actúa perpendicularmente a la misma. En el caso de paredes verticales, esta fuerza no se aplica de manera uniforme, sino que se concentra más cerca de la base debido al incremento de la presión con la profundidad. Por otro lado, en superficies horizontales, como el fondo de una cisterna, la fuerza hidrostática se distribuye de manera uniforme.

El diseño de estructuras sometidas a cargas hidrostáticas debe garantizar que los materiales sean capaces de resistir las tensiones generadas por estas fuerzas. Además, es crucial considerar la estabilidad general de la estructura, evitando deformaciones, filtraciones o fallos estructurales. Estas cargas también interactúan con otras, como las dinámicas generadas por eventos sísmicos o cambios rápidos en los niveles de agua, por lo que un diseño integral debe abordar todos estos factores para asegurar la funcionalidad y durabilidad de la infraestructura. (CONSTRUCCION N. N., 2014)

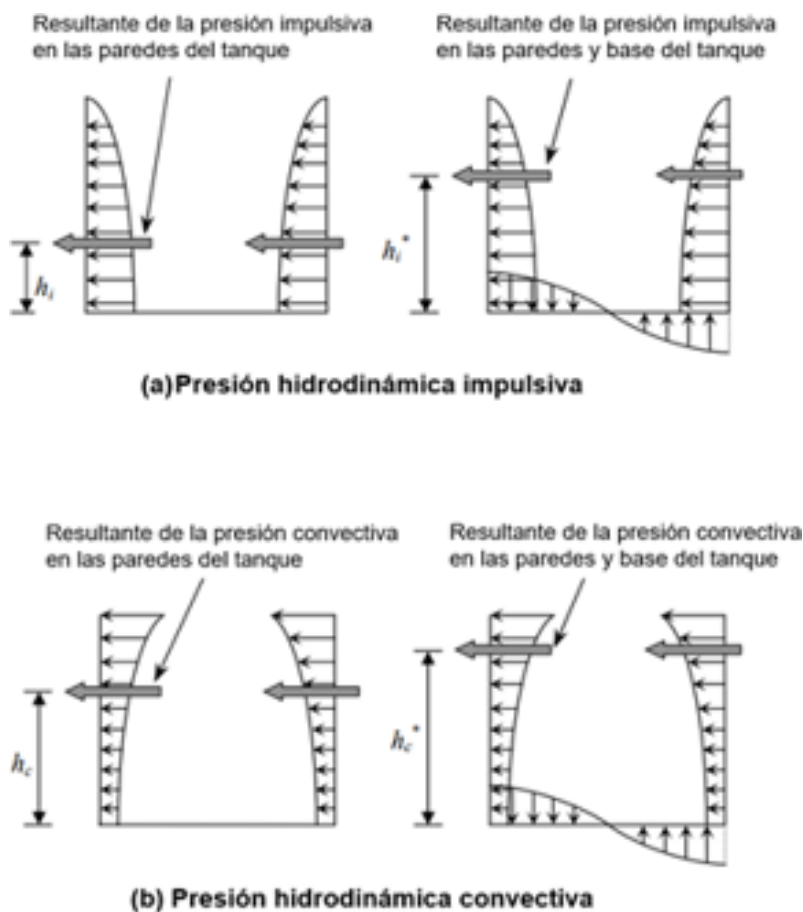
12.12 Cargas Hidrodinámicas

Las cargas hidrodinámicas son fuerzas generadas por el movimiento del fluido dentro de un recipiente debido a la acción de cargas dinámicas externas, como sismos o vibraciones. Estas fuerzas son especialmente relevantes en el diseño de cisternas de hormigón armado y otras estructuras de almacenamiento de líquidos, ya que pueden amplificar significativamente los esfuerzos y tensiones en la estructura durante eventos dinámicos.

El origen de las cargas hidrodinámicas radica en la aceleración impuesta al recipiente que contiene el fluido, como ocurre durante un terremoto. Esto provoca una interacción dinámica entre el fluido y las paredes de la cisterna, generando dos componentes principales de carga: la presión hidrodinámica impulsiva, que resulta del movimiento solidario del fluido con la estructura, y la presión hidrodinámica convectiva, que se manifiesta como el movimiento oscilatorio del líquido libre en la superficie. (Housner, *The Dynamic Behavior of Water Tanks.*, 1963)

Estas fuerzas no son uniformes y varían según la geometría del recipiente, la profundidad del fluido y la intensidad del movimiento sísmico. El diseño estructural debe considerar estas cargas para garantizar que la cisterna pueda resistir las fuerzas generadas, incluyendo la implementación de refuerzos adicionales y medidas para evitar deformaciones críticas o colapsos. Herramientas computacionales, como SAP2000, son comúnmente utilizadas para modelar y simular estas cargas, asegurando que el diseño cumpla con normativas

Figura 7.
Cargas hidrodinámicas



Fuente: (Lobo, 2021)

12.13 Carga hidrodinámica impulsiva

La carga hidrodinámica impulsiva es una fuerza generada en estructuras que contienen líquidos, como cisternas y tanques, cuando están sometidas a movimientos dinámicos externos, como sismos. Esta carga surge debido a la interacción directa entre el fluido y las paredes del recipiente, ya que una porción del líquido se mueve solidariamente con la estructura en respuesta a las aceleraciones inducidas. El líquido en contacto con las superficies internas actúa como una masa rígida que ejerce presiones adicionales sobre las paredes y el fondo del recipiente.

La distribución de las presiones impulsivas varía según la geometría y las dimensiones de la cisterna, pero generalmente son mayores en las zonas inferiores de las paredes debido a la acumulación de fuerzas con la profundidad. Estas presiones impulsivas son constantes en frecuencia y están sincronizadas con el movimiento de la estructura, generando esfuerzos adicionales que deben ser considerados en el diseño estructural.

El análisis de esta carga es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura, ya que influye directamente en la resistencia requerida del hormigón y el refuerzo. Para modelar y evaluar las cargas impulsivas, se utilizan herramientas computacionales como SAP2000, y se diseñan estructuras siguiendo normativas internacionales como el ACI 350 y ASCE 7, que establecen criterios específicos para el diseño de cisternas sometidas a cargas dinámicas. Este enfoque asegura que la cisterna pueda resistir las fuerzas inducidas por el movimiento del líquido durante eventos sísmicos, garantizando su operatividad y durabilidad. (Veletsos & Yang, 1977)

12.14 Carga hidrodinámica convectiva

La carga hidrodinámica convectiva es una fuerza generada por el movimiento oscilatorio del líquido en la superficie libre de un recipiente durante eventos dinámicos, como un sismo. Este fenómeno, conocido como "sloshing", ocurre cuando las aceleraciones externas inducen oscilaciones independientes en el líquido que no está en contacto directo con las paredes de la estructura. Estas oscilaciones generan ondas que impactan las paredes superiores de la cisterna y, en ocasiones, el techo, dependiendo de la geometría del recipiente.

A diferencia de la carga impulsiva, que se concentra en el líquido en contacto con las paredes, la carga convectiva se caracteriza por su naturaleza oscilatoria y su dependencia de la frecuencia del movimiento sísmico y las dimensiones del recipiente. La magnitud de estas fuerzas aumenta con el nivel de llenado, el área de la superficie libre y la intensidad del movimiento sísmico. Además, la energía generada por las ondas puede producir impactos dinámicos en las paredes superiores, lo que incrementa las demandas estructurales en estas zonas. (Housner, The Dynamic Behavior of Water Tanks., 1963)

12.15 Herramientas y métodos de análisis

El análisis estructural puede realizarse mediante métodos tradicionales de ingeniería estructural, como cálculos manuales basados en teorías de resistencia de materiales, o mediante el uso de herramientas computacionales avanzadas. Entre estas herramientas destaca SAP2000, un software especializado en el análisis y diseño de estructuras. Este programa permite:

- Modelar la geometría de la cisterna en 2D o 3D.

- Aplicar cargas estáticas y dinámicas de forma precisa.
- Simular el comportamiento estructural bajo diferentes escenarios de carga.
- Generar análisis detallados sobre deformaciones, esfuerzos y vibraciones.
- Identificar puntos críticos de la estructura susceptibles a fallas.

El uso de herramientas computacionales como SAP2000 no solo agiliza el proceso de análisis, sino que también proporciona resultados más precisos y confiables, lo que es crucial para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura crítica. (Computers and Structures, 2023)

12.16 Parámetros clave evaluados en el análisis estructural

1. **Estado límite último (ELU):** Representa la capacidad máxima de resistencia que la estructura puede soportar antes de colapsar. Este estado se evalúa para garantizar que la cisterna pueda soportar las cargas extremas, como las generadas por terremotos o condiciones de sobrellenado, sin fallar.
2. **Estado límite de servicio (ELS):** Evalúa el comportamiento de la cisterna en condiciones normales de operación. Este análisis se centra en aspectos como la formación de fisuras, las deformaciones excesivas y las vibraciones. Garantizar el cumplimiento del ELS es fundamental para mantener la funcionalidad y la durabilidad de la estructura a largo plazo.
3. **Capacidad de almacenamiento:** Determina si el volumen efectivo de la cisterna es suficiente para cubrir las necesidades del sistema contra incendios en situaciones de emergencia. Este parámetro incluye la evaluación del espacio disponible, las pérdidas de capacidad por deterioro estructural y el cumplimiento de normativas de diseño.
4. **Estabilidad estructural:** Analiza si la cisterna puede mantenerse en equilibrio bajo cargas no uniformes, como las generadas por movimientos del terreno, presiones desiguales del agua o cargas sísmicas.
5. **Estanqueidad:** Evalúa la capacidad de la cisterna para evitar filtraciones, lo cual es crítico para mantener la funcionalidad del sistema. Las fisuras o juntas defectuosas pueden comprometer la estanqueidad, reduciendo la capacidad operativa del sistema contra incendios. ((ACI), 2019)

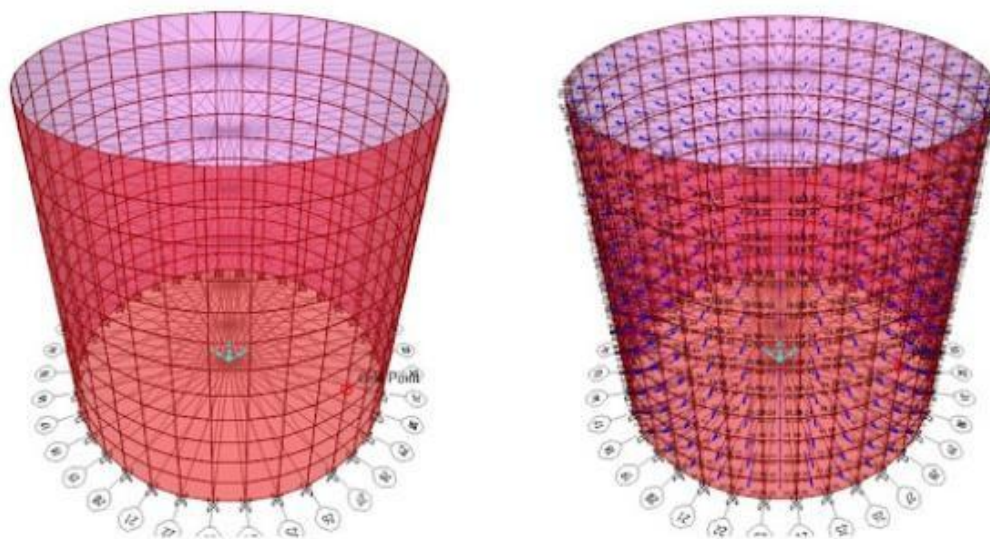
2.23 Uso del SAP2000 en estructuras de hormigón armado

El SAP2000 es una de las herramientas más completas y avanzadas para el análisis y diseño estructural, siendo ampliamente utilizado en el diseño de estructuras de hormigón armado gracias a su capacidad para integrar modelado, análisis y verificación normativa en un entorno único. Este software es ideal para proyectos de ingeniería que requieren precisión y cumplimiento con los estándares de diseño, ya que incorpora funcionalidades que abarcan desde la definición de materiales hasta el diseño detallado de elementos estructurales.

En primer lugar, el software permite modelar la geometría de estructuras de hormigón armado de manera precisa y eficiente. A través de su interfaz gráfica, es posible definir elementos como vigas, columnas, losas y muros, tanto en dos como en tres dimensiones. Además, el SAP2000 permite la definición personalizada de secciones estructurales, permitiendo modelar elementos con formas y dimensiones específicas, como secciones rectangulares, circulares, en T, en L o secciones irregulares. Esto es especialmente útil para proyectos complejos que requieren soluciones específicas para elementos de hormigón armado. (Kassimali, 2015)

Figura 8.

Tanque cilíndrico de hormigón armado



Una de las grandes ventajas del SAP2000 es su capacidad para definir materiales con propiedades personalizables. En el caso del hormigón armado, se pueden especificar características como la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y la densidad, así como propiedades del acero de refuerzo, como su límite de fluencia,

resistencia a tracción y módulo de elasticidad. Esta flexibilidad asegura que los análisis reflejen con precisión el comportamiento real de los materiales utilizados en el proyecto.

En cuanto al análisis estructural, SAP2000 ofrece una amplia variedad de tipos de análisis que pueden aplicarse a estructuras de hormigón armado. Estos incluyen análisis estáticos lineales, dinámicos, no lineales y análisis de carga dependiente del tiempo, como los efectos del pandeo, fluencia y retracción en el hormigón. También es posible realizar análisis específicos para cargas gravitatorias, sísmicas, de viento y térmicas, lo que garantiza que el diseño cumpla con las demandas impuestas por las condiciones reales de carga. (Taranath, 2016)

Una de las características más destacadas del SAP2000 es su capacidad para aplicar y verificar normativas de diseño estructural, incluyendo códigos internacionales como el ACI (American Concrete Institute). Esto permite realizar verificaciones automáticas del diseño de elementos de hormigón armado, asegurando que cumplan con los requisitos mínimos de resistencia, ductilidad y seguridad. El software también proporciona herramientas para optimizar el refuerzo en elementos como vigas y columnas, ajustando la cantidad y distribución de las barras de acero para cumplir con los requisitos normativos mientras se optimizan los costos.

Además de su capacidad de análisis y diseño, SAP2000 facilita la interpretación de resultados mediante gráficos, diagramas de esfuerzos, deformaciones y reacciones. Estos resultados se presentan de manera intuitiva, lo que permite a los ingenieros identificar rápidamente zonas críticas y tomar decisiones informadas para mejorar el diseño estructural. También ofrece la posibilidad de generar informes detallados y personalizables que documentan todos los aspectos del análisis y diseño, lo cual es esencial para la presentación y validación de proyectos.

En resumen, SAP2000 es una herramienta integral para el diseño de estructuras de hormigón armado, ofreciendo funcionalidades avanzadas de modelado, análisis y diseño normativo. Su capacidad para personalizar materiales, modelar geometrías complejas, realizar análisis detallados y optimizar el diseño de elementos estructurales lo convierte en una herramienta imprescindible para ingenieros estructurales que buscan eficiencia, precisión y cumplimiento normativo en sus proyectos. (Ghali, Neville, & Brown, Métodos de análisis estructural avanzados., 2017)

2.24 Importancia del análisis estructural

Un análisis estructural detallado es crucial para identificar posibles deficiencias en el diseño y la construcción de cisternas de hormigón armado. Además, permite evaluar la capacidad de la

estructura para cumplir con los requisitos normativos y operativos. En el caso de sistemas contra incendios, esto asegura que la cisterna pueda proporcionar un suministro confiable de agua en situaciones de emergencia, reduciendo los riesgos para las personas y los bienes.

Por último, los resultados obtenidos a partir del análisis estructural no solo son útiles para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la cisterna, sino que también sirven como base para planificar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. Esto contribuye a extender la vida útil de la infraestructura y a optimizar la inversión en el sistema contra incendios.

2.25 Importancia de Garantizar la Seguridad de los Usuarios y la Infraestructura

La seguridad de los usuarios y la infraestructura es un aspecto esencial en el diseño, construcción y operación de edificaciones, especialmente en espacios de alta concurrencia como plazas comerciales, hospitales y edificios residenciales. Este enfoque no solo protege vidas humanas, sino que también preserva bienes materiales, reduce riesgos económicos y asegura la funcionalidad de los espacios ante eventos adversos.

Proteger la vida humana es la prioridad absoluta. Los riesgos asociados a fallas estructurales, incendios o desastres naturales, como terremotos, pueden tener consecuencias fatales si no se toman medidas preventivas adecuadas. Sistemas como alarmas, rutas de evacuación, sistemas contra incendios y estructuras diseñadas para resistir cargas dinámicas son fundamentales para minimizar los impactos de emergencias. Además, la seguridad en las edificaciones evita tragedias que podrían resultar en pérdidas humanas irreparables y daños emocionales en las comunidades afectadas.

Desde una perspectiva económica, garantizar la seguridad reduce riesgos financieros significativos. Las fallas estructurales o funcionales pueden generar pérdidas materiales, interrupciones en las operaciones y altos costos de reparación. Por ejemplo, daños en cisternas de hormigón armado o sistemas contra incendios pueden comprometer la funcionalidad de servicios críticos, afectando tanto a los usuarios como a los propietarios de las instalaciones. Además, una infraestructura insegura puede derivar en litigios legales y afectar la reputación del establecimiento.

La continuidad operativa es otro factor crucial, especialmente en edificaciones comerciales. La seguridad estructural y funcional asegura que las actividades del negocio no se vean interrumpidas, protegiendo ingresos y fidelizando a los usuarios. Fallas en elementos clave, como una cisterna de almacenamiento de agua, pueden causar interrupciones en el suministro de servicios básicos, generando un impacto negativo tanto en el corto como en el largo plazo.

Cumplir con normativas de seguridad también fortalece la responsabilidad social y legal de los gestores de la infraestructura. Además, fomenta la confianza de los usuarios al garantizar que los espacios son seguros para su ocupación. Este compromiso ético y social contribuye a crear entornos más confiables y sostenibles, reforzando la percepción positiva del público hacia los administradores de las instalaciones.

En regiones propensas a desastres naturales, como Ecuador, la resiliencia estructural es un aspecto indispensable. Diseñar infraestructuras capaces de resistir eventos extremos, como terremotos, no solo protege a los ocupantes, sino que también facilita una recuperación más rápida después del desastre. Esto minimiza las interrupciones en los servicios y reduce los costos asociados a reparaciones y reconstrucciones. ((MOPC))

2.26 Relevancia del estudio en la plaza comercial Almax Center

La plaza comercial Almax Center es un espacio de alta concurrencia, lo que resalta la importancia de disponer de un sistema contra incendios eficiente y confiable. En entornos con gran afluencia de personas, como centros comerciales, cualquier emergencia relacionada con incendios puede tener consecuencias graves, tanto en términos de seguridad humana como de daños materiales. Por ello, evaluar la cisterna de hormigón armado de esta plaza es fundamental para garantizar que cumpla con los estándares necesarios en términos de capacidad de almacenamiento, integridad estructural y funcionalidad operativa.

Este estudio permitirá identificar posibles deficiencias en la infraestructura, como fisuras, filtraciones o fallos en el diseño hidráulico, que puedan comprometer la capacidad de respuesta del sistema contra incendios en situaciones de emergencia. Además, el análisis busca plantear mejoras que fortalezcan la seguridad general del establecimiento, minimizando riesgos para los usuarios, los bienes y la operatividad del espacio comercial.

La relevancia del estudio también se extiende más allá del Almax Center, ya que los hallazgos y las soluciones propuestas pueden servir como modelo de referencia para la evaluación y optimización de sistemas contra incendios en otras edificaciones comerciales con características similares. Esto contribuye a mejorar la resiliencia de los espacios públicos y a fomentar prácticas de ingeniería que prioricen la seguridad y la sostenibilidad. Este enfoque no solo asegura la protección inmediata, sino que también refuerza la confianza del público y promueve estándares de calidad en la gestión de riesgos en infraestructura comercial.

2.27 Normativa

En Ecuador, el diseño y construcción de cisternas elevadas de hormigón armado están regulados por las disposiciones establecidas en la **Norma Ecuatoriana de la Construcción** “((MIDUVI), 2015)”. Esta normativa tiene como objetivo garantizar que dichas estructuras cumplan con los requisitos de seguridad, funcionalidad y durabilidad necesarios para su correcto desempeño. Dentro de esta regulación, se destacan varias secciones específicas que abordan los aspectos técnicos fundamentales del diseño y la construcción de cisternas.

- **NEC-SE-HM (Hormigón Armado)**

Esta sección establece los lineamientos técnicos para el diseño y construcción de estructuras de hormigón armado, haciendo énfasis en varios aspectos clave:

Resistencia a compresión del hormigón: Garantiza que el material pueda soportar las cargas a las que estará sometido.

Propiedades del acero de refuerzo: Especifica los requisitos para el refuerzo, como la resistencia, ductilidad y disposición adecuada dentro de la estructura.

Disposiciones de refuerzo transversal: Define las medidas necesarias para garantizar la estabilidad y resistencia frente a fuerzas internas y externas.

Además, se incorporan criterios de durabilidad que contemplan la protección contra la corrosión de las armaduras y la impermeabilidad del hormigón para evitar filtraciones y deterioro prematuro.

- **NEC-SE-DS (Diseño Sismo Resistente)**

Debido a que Ecuador es una zona de alta actividad sísmica, esta sección regula el diseño de estructuras para que puedan resistir las fuerzas generadas por eventos sísmicos. Para las cisternas elevadas, se exige:

Evaluación del peligro sísmico del sitio: Determina la intensidad de las cargas sísmicas que la estructura puede enfrentar.

Criterios de diseño sismo resistente: Incluyen la consideración de detalles de refuerzo para garantizar ductilidad, permitiendo que la estructura absorba la energía sísmica sin fallar.

Prevención de fallas estructurales: Se requiere que las cisternas mantengan su integridad estructural incluso bajo cargas sísmicas extremas.

- **NEC-SE-CG (Cargas No Sísmicas)**

Esta sección define las combinaciones de cargas permanentes y variables que deben considerarse en el diseño estructural. Para las cisternas elevadas, se deben evaluar:

Cargas permanentes: Como el peso propio de la estructura y el contenido de agua almacenada.

Cargas variables: Como las fuerzas generadas por el viento y otras condiciones ambientales que podrían impactar la estabilidad de la estructura.

- **Complementación con estándares internacionales**

Además de las normativas nacionales, el cumplimiento de estándares internacionales aporta un nivel adicional de seguridad y eficiencia. Entre los más relevantes se incluyen:

La normativa “ ((ACI), 2019)”: Proporciona directrices para el diseño estructural de hormigón armado, asegurando que las cisternas cumplan con altos estándares de resistencia y durabilidad.

La “ ((NFPA), 2023)” establece requisitos específicos para sistemas de almacenamiento de agua para protección contra incendios, garantizando la operatividad y funcionalidad del sistema en situaciones de emergencia.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación del proyecto

El siguiente proyecto se encuentra ubicado en una zona industrial y comercial en el cantón Samborondón provincia del Guayas, el cual se encuentra ubicado en el Kilómetro 14 ½ de la vía a Samborondón dentro de la plaza comercial Almax Center cuyas coordenadas de referencia son: 2°02'14"S 79°50'48"W

Figura 9.
Ubicación



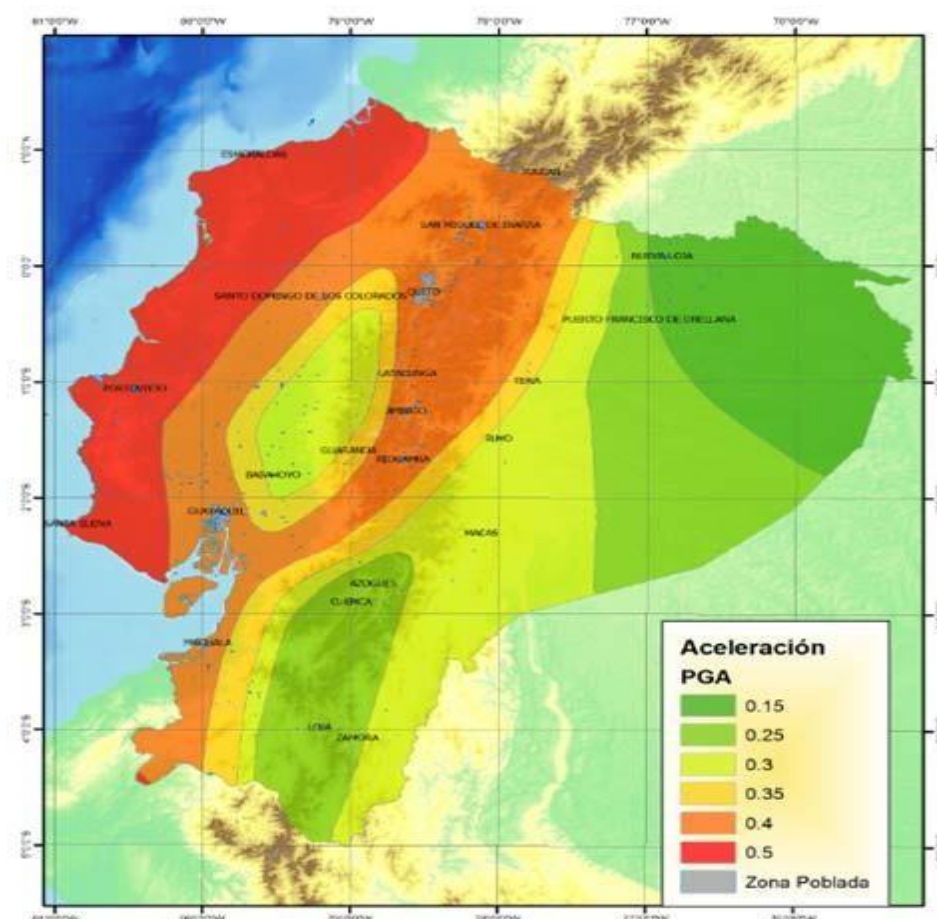
Fuente: (Google Earth, 2024)

3.2 Cálculos

3.2.1 Cálculo de coeficientes sísmicos

Se procede a realizar el cálculo sísmico que va a ocurrir sobre la estructura. Para eso tenemos que guiarnos del mapa de zonificación sísmica para diseño el cual proviene de de un estudio de peligro sísmico el cual va a tener un periodo de excedencia de 50 años y cuyo periodo de retorno es de 475 años

Ilustración 1.
Mapa de zonificación



Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

Tabla 1.
Zona sísmica

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor z	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

En este caso para el cantón Samborondón en donde estamos realizando nuestro análisis estructural podemos determinar que nuestro factor de Z es de 0,40 lo cual indica que es una zona de alto riesgo sísmico ya que está ubicado en una zona sísmica de nivel V.

Tabla 2.
Población

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Z
La Puntilla	Samboorondón	Samboorondón	Guayas	0,40

3.3 Tipo de perfil de suelo

El tipo de perfil de suelo sobre el cual está hecha la cisterna corresponde a un suelo tipo del cual son suelos que son de tipo rígido.

Tabla 3.
Perfiles de suelos

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las siguientes condiciones	$50 > n \geq 15,00$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

3.3 Coeficientes de perfil de suelo

Para el análisis estructural de la cisterna necesitamos el valor del coeficiente F_a el cual lo obtenemos sabiendo el tipo de perfil del suelo y la zona sísmica de donde está ubicada la cisterna. Este valor nos va a permitir el cálculo del espectro de respuesta elástico de aceleraciones en las zonas que tenga periodo corto. Debido al perfil de suelo y a la zona sísmica podemos determinar que el valor de F_a es de 1.2

Tabla 4.
Tipos de perfiles

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
A	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,40	1,30	1,25	1,23	1,20	1,18
D	1,60	1,40	1,30	1,25	1,20	1,12
E	1,80	1,40	1,25	1,10	1,00	0,85
F	Revisar la clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

3.4 Coeficiente de importancia

La estructura estará clasificada en categorías de importancia y corresponde al factor I, esto se realiza con el fin de incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras debido a que por sus características de uso o de importancia deben estar siempre operativas o sufrir muy pocos daños durante el sismo o después del mismo.

Tabla 5.
Edificaciones esenciales

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,50

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

3.5 Factor de reducción de respuesta para estructuras diferentes a las de edificación

El factor R permite una reducción mínima de fuerzas sísmicas en el diseño siempre y cuando el diseño de la estructura sea resistente y dúctil.

Tabla 6.
Valores del coeficiente

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados	2,00

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

3.6 Cálculos sísmicos

-Cálculo de coeficiente sísmico

Donde:

n: Razón entre la aceleración espectral y el PGA para el periodo de retorno seleccionado

Z: Factor de zona

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

R: Factor de reducción de resistencia

$$Coef = \frac{n * Z * Fa * 1.5}{R}$$

$$Coef = \frac{1.80 * 0.40 * 1.20 * 1.50}{2}$$

$$\underline{\underline{Coef = 0.65}}$$

-Área de pared

Donde:

d: Diámetro de la cisterna

t: Espesor de pared cisterna

$$A_{pared} = \frac{\pi * (d^2 - (d - 2 * t)^2)}{4}$$

$$A_{pared} = \frac{3.14 * (4.50^2 - (4.50 - 2 * 0.32)^2)}{4}$$

$$\underline{\underline{A_{pared} = 4.20m^2}}$$

-Área de líquido

Donde:

d: Diámetro de la cisterna

t: Espesor de pared cisterna

$$Aliq = \frac{\pi * (d - 2 * t)^2}{4}$$

$$Aliq = \frac{\pi * (4.50 - 2 * 0.32)^2}{4}$$

$$\underline{\underline{Aliq = 11.70m^2}}$$

-Área total

Donde:

d: Diámetro de la cisterna

$$Atotal = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$Atotal = \frac{\pi * 4.50^2}{4}$$

$$\underline{\underline{Atotal = 15.90m^2}}$$

-Peso de hormigón

Donde:

Apared: Área de paredes de la cisterna

Hdef: Altura definitiva

Atotal: Área total

tlosa: Espesor de losa

tcupula: Espesor de cúpula

$$Phormigon = (Apared * Hdef + Atotal * tlosa + Atotal * tcupula * 1.20) * 2.40$$

$$Phormigon = (4.20 * 7.50 + 15.90 * 0.15 + 15.90 * 0.13 * 1.20) * 2.40$$

$$\underline{\underline{Phormigon = (87.32t)}}$$

-Peso de líquido

Donde:

Aliquido: Área de liquido

Hdef: Altura definitiva

$$Pliquido = Aliquido * Hdef$$

$$Pliquido = 11.70 * 7.50$$

$$\underline{\underline{Pliquido = 87.77t}}$$

-Peso Final

Phormigon: Peso del hormigón

Pliquido: Peso del liquido

$$P_{final} = P_{hormigon} + P_{liquido}$$

$$P_{final} = 87.32 + 87.77$$

$$\mathbf{P_{final} \underline{=} 175.09t}$$

-Volumen

Donde:

Pfinal: Peso final de la cisterna

Coef: Coeficiente sismico de la cisterna

$$V = P_{final} * Coef$$

$$V = 175.09 * 0.65$$

$$\mathbf{V \underline{=} 113.46t}$$

3.7 Espesor de pared

-Cortante ultimo

Donde:

V: Volumen

d: Diametro

$$Vu = 2 * \frac{V}{\pi * d}$$

$$Vu = 2 * \frac{113.46}{\pi * 4.50}$$

$$\mathbf{Vu \underline{=} 16.05t}$$

-Mitad del perímetro del tanque

$$lw = \frac{\pi * d}{2}$$

$$lw = \frac{\pi * 4.50}{2}$$

$$lw = 7.07m$$

-Relación para obtener a

Donde:

Hdef: Altura definitiva

Iw: Mitad del perímetro del tanque

$$H/Iw = \frac{Hdef}{Iw}$$

$$H/Iw = \frac{7.50}{7.07}$$

$$\underline{H/Iw \equiv 1.06}$$

Debe resistir la cortante y la tensión anular

Si H/Iw es < 1.50, a es igual 0.8

Si H/Iw es > 1.50, a es igual a 0.53

3.8 Acero horizontal

Diámetro= 12mm

Separación= 23cm

-Área de acero

fi: Diámetro de la varilla

$$Avar = 0.00785 * fi^2$$

$$Avar = 0.00785 * 12^2$$

$$Avar = 1.13cm^2$$

-Cuantía de acero

Avar: Área de varilla

Sv: Separación entre varillas

t: espesor de pared

$$Cuant = \frac{2 * Avar}{sv * t}$$

$$Cuant = \frac{2 * 1.13}{23 * 32}$$

$$\underline{\underline{Cuant = 0.0031 - - - - Si cumple}}$$

-Área de hormigón

Donde:

Iw: Mitad del perímetro del tanque

t: espesor de pared

$$Acv = Iw * t * 10000$$

$$Acv = 7.07 * 0.32 * 10000$$

$$\underline{\underline{Acv = 22620cm^2}}$$

-Cortante nominal

Donde:

Acv: Área de hormigón

a: Relación entre la altura definitiva y la mitad del perímetro

cuant: Cuantía del acero

f'y: Resistencia del acero

$$V_n = \frac{Acv * (a * f'c^{0.5} + cuant * f'y)}{1000 * 7.07 * 0.75}$$

$$V_n = \frac{22620 * (0.80 * 280^{0.5} + 0.0031 * 4200)}{1000 * 7.07 * 0.75}$$

$$\mathbf{V_n = 63.09t}$$

3.9 Tensión Anular

-Factor de amplificación de gradiente de tensión

Para determinar el valor β debe cumplir una de las siguientes condiciones:

-Para que el valor de β sea 1.20 siempre y cuando el valor de t sea mayor a 0.406

--Para que el valor de β sea 1.35 siempre y cuando el valor de t sea menor a 0.406

-Esfuerzo de tensión anular del acero de refuerzo

Donde:

B: Factor de amplificación de gradiente de tensión

Sv: separación entre varillas

$$fs = \frac{260}{\beta \sqrt{\left(\frac{sv}{2.54}\right)^2 + 25(14.23)}} * 1000$$

$$fs = \frac{2.60}{1.35 \sqrt{\left(\frac{23}{2.54}\right)^2 + 25 * 14.23}} * 1000$$

$$\mathbf{fs = 1308kg/cm^2}$$

-Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto

Donde:

Es: Modulo de elasticidad del acero

Ec: Modulo de elasticidad del hormigón

f'c: Resistencia del hormigón

$$n = \frac{Es}{Ec * f'c^2}$$

$$n = \frac{2100000}{12600 * 280^2}$$

$$n \equiv \underline{9.96}$$

-Módulo de ruptura a la tensión del concreto

$$fr = 2 * f'c^{0.5}$$

$$fr = 2 * 280^{0.5}$$

$$\underline{fr = 33.47 \text{ kg/cm}^2}$$

-Tensión máxima en el refuerzo

$$\underline{Tmax \equiv 504 \text{ kg/cm}}$$

-Espesor de muros

Es: Modulo de elasticidad del acero

fs: Esfuerzo de tensión anular del acero de refuerzo

n: Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto

fr: Módulo de ruptura a la tensión del concreto

$$t = \frac{CEs + fs - nfr}{fr * fs} T_{max}$$

$$t = \frac{0.0008 * 2100000 + 1308 - 9.96 * 33.47}{33.47 * 1308} * 504$$

$$\mathbf{t \equiv 32cm}$$

3.10 Datos geométricos

-Altura de la cúpula

$$f = \frac{d}{5}$$

$$f = \frac{4.5}{5}$$

$$\mathbf{f \equiv 0.9m}$$

-Radio de la cúpula

Donde:

f: Altura de la cúpula

d: Diámetro de la cisterna

$$Rc = \frac{4 * f^2 + d^2}{8f}$$

$$Rc = \frac{4 * 0.9^2 + 4.5^2}{8 * 0.9}$$

$$\mathbf{Rc \equiv 3.2625m}$$

-Angulo de la cúpula

Donde:

Rc: Radio de cúpula

d: Diámetro de la cisterna

$$\theta = \sin^{-1} * \frac{d}{2Rc}$$

$$\theta = \sin^{-1} * \frac{4.50}{2 * 3.2625}$$

$$\underline{\theta = 43.60^\circ}$$

3.11 Cúpula

Carga muerta: 312kg/m²

Carga viva: 100kg/m²

-Carga ultima

Donde:

Cd: Carga muerta

Cv: Carga viva

$$Cu = 1.2Cd + 1.6Cv$$

$$Cu = 1.2(312) + 1.6(100)$$

$$\underline{Cu = 534 \text{ kg/m}^2}$$

-Capacidad de carga

Donde:

Cu: Carga ultima

$$Pu = \frac{Cu}{10000}$$

$$Pu = \frac{534}{10000}$$

$$\underline{Pu = 0.05kg/cm^2}$$

Espesor de cúpula: $t_{cupula} = 0.13cm$

Área de acero por metro de losa: $5cm^2$

-Área de acero mínimo

$$Asmin = 0.0018 * 100 * t_{cupula} * 100$$

$$Asmin = 0.0018 * 100 * 0.13 * 100$$

$$\underline{Asmin = 2.34cm^2}$$

Área de acero definitivo: $5cm^2$

Diámetro de varilla: 12mm

-Separación entre varillas

Donde:

f_i : Diámetro de la varilla

As_{def} : Área de acero definitivo

$$S_v = \frac{0.785 * f_i^2}{As_{def}}$$

$$Sep = \frac{0.785 * 12^2}{5}$$

$$Sep = 22.60cm = 23cm$$

3.12 Acero vertical

Cuantía min: 0.003

Diámetro de varilla= 12mm

-Área de la varilla

$$A_{var} = 0.00785 * f_i^2$$

$$A_{var} = 0.00785 * 12^2$$

$$A_{var} = 1.13cm^2$$

-Área total de acero mínima

Donde:

t: Espesor de pared

Pmin: Cuantía mínima

$$A_t = t * 100 * 100 * P_{min}$$

$$A_t = 0.32 * 100 * 100 * 0.003$$

$$A_t = 9.60cm^2$$

-Separación entre varillas

Donde:

f_i: Diámetro de varilla

A_t: Área total de acero mínimo

$$S_v = \frac{0.785 * f_i^2}{A_t * 2}$$

$$S_{ep} = \frac{0.785 * 12^2}{9.60 * 2}$$

$$S_{ep} = 23.55cm = 24cm$$

3.13 Cimentación

-Peso de paredes

$$P_{paredes} = A_{paredes} * H_{def} * 2.40$$

$$P_{paredes} = 4.20 * 7.50 * 2.40$$

$$P_{paredes} = 75.65t$$

-Peso de la cúpula

Donde:

Rc: Radio de cúpula

f: Altura de la cúpula

tcupula: Espesor de la cúpula

$$P_{cupula} = 2 * \pi * Rc * f * tcupula * 2.40$$

$$P_{cupula} = 2 * \pi * 3.2625 * 0.9 * 0.13 * 2.40$$

$$P_{cupula} \equiv \underline{5.76t}$$

-Carga viva

Cvcupula: Carga viva de la cúpula

Atotal: Área total de la cisterna

$$Cv = \frac{Cvcupula * Atotal}{1000}$$

$$Cv = \frac{100 * 15.90}{1000}$$

$$Cv \equiv \underline{1.59t}$$

-Peso del tanque vacío

$$W_{tv} = P_{paredes} + P_{cupula} + C_v$$

$$W_{tv} = 75.64 + 5.76 + 1.59$$

$$W_{tv} = 82.99t$$

-Carga repartida en el tanque

Donde:

W_{tv}: Peso del tanque vacío

D: Diámetro de la cisterna

$$W = \frac{W_{tv}}{\pi * d}$$

$$W = \frac{82.99}{\pi * 4.50}$$

$$\underline{W = 5.87 \frac{t}{m}}$$

-Longitud de desarrollo mínimo

$$\underline{Ld \min \equiv 22.72cm}$$

-Profundidad de desplante de la cimentación

$$\underline{Df \equiv 0.4m}$$

-Espesor de cimentación

Donde:

W: Carga repartida en el tanque

Df: Profundidad de desplante de la cimentación

Qa: Carga admisible

γ_{liq} :

$$t = \frac{2 * w}{2 * df * (\frac{qa}{df} - 2.4) - \gamma_{liq} * H_{def}}$$

$$t = \frac{2 * 5.86}{2 * 0.40 * (\frac{15}{0.40} - 2.40) - 1 * 7.50}$$

$$t = 0.57m$$

-Espesor de cimentación definitivo

$$t_{def} = 0.60m$$

-Presión de relleno

Carga máxima que soporta el suelo

Donde:

W: Carga repartida en el tanque

Df: Profundidad de desplante de la cimentación

tlosa: Espesor de la losa

γ_{liq} : Densidad del agua

Hdef: Altura definitiva

$$qa = \gamma_{liq} * h_{def} + \frac{w}{h_{def}} + 2.40 * t_{losa} + 1.8 * (df - t_{losa})$$

$$qa = 1 * 7.50 + \frac{5.87}{7.50} + 2.40 * 0.15 + 1.8 * (0.40 - 0.15)$$

$$qa = 9.09t/m^2$$

-Empuje de la base

Angulo: $\phi = 30^\circ$

Coeficiente de presión horizontal

$$Ka = \frac{1 - \text{seno}(\frac{\phi * \pi}{180})}{1 + \text{seno}(\frac{\phi * \pi}{180})}$$

$$Ka = \frac{1 - \text{seno}(\frac{30^\circ * \pi}{180})}{1 + \text{seno}(\frac{30^\circ * \pi}{180})}$$

$$Ka = 0.33$$

-Fuerza de empuje

Donde:

W: Carga repartida en el tanque

Df: Profundidad de desplante de la cimentación

γ_{liq} : Densidad del agua

ka: Coeficiente de presión horizontal

Hdef: Altura definitiva

h: Altura

$$Fe = (\frac{w}{h_{def}} + \gamma_{liq} * h_{def} + 1.8 * 0.4 + 2.4 * h) * df * Ka * 1000$$

$$Fe = (\frac{5.87}{7.50} + 1 * 7.50 + 1.8 * 0.4 * 7) * 0.4 * 0.33 * 1000$$

$$Fe = 1248kg/cm$$

-Área de acero

Donde:

Fe: Fuerza de empuje

d: Diámetro

f'y: Resistencia del acero

$$As = Fe * \pi * \frac{d}{1.2 * fy}$$

$$As = 1248 * \pi * \frac{4.50}{1.2 * 4200}$$

$$As = 3.50cm^2$$

-Diámetro varilla: 12mm

-Número de varillas

$$num = \frac{As}{0.00785 * fi^2}$$

$$num = \frac{3.50}{0.00785 * 12^2}$$

$$num = 3unidades$$

-Recubrimiento = 7.50cm

-Acero transversal

Donde:

tdef: Espesor de cimentación definitivo

df: Profundidad de desplante de la cimentación

rec: Recubrimiento

$$At = 0.003 * t_{def} * 100 * df * 100 - rec$$

$$At = 0.003 * 0.6 * 100 * 0.4 * 100 - 7.50$$

$$\mathbf{At = 5.85cm^2}$$

Diámetro de varilla: **12mm**

-Separación entre varillas

$$Sep = \frac{0.785 * fi^2}{At}$$

$$Sep = \frac{0.785 * 12^2}{5.85}$$

$$\mathbf{Sep = 19cm}$$

-Losa de Piso

Altura

$$h = t_{losa} * 100$$

$$h = 0.15 * 100$$

$$\mathbf{h = 15cm}$$

Área de acero

$$As = 0.0018 * 100 * h$$

$$As = 0.0018 * 100 * 15$$

$$\mathbf{As = 2.70cm^2}$$

Diámetro de la varilla: **12mm**

-Separación entre varilla

$$sep = \frac{0.785 * fi^2}{As}$$

$$sep = \frac{0.785 * 12^2}{2.70}$$

$$sep = 42cm$$

Chequeo de estabilidad

-Momento de volcamiento

Donde:

V: Volumen

Hdef: Altura definitiva

Df: Profundidad de desplante

$$Mvol = V \frac{hdef}{2} + df$$

$$Mvol = 113.46 * (\frac{7.50}{2} + 0.4)$$

$$Mvol = 471 t - m$$

-Momento resistente

Donde:

Wtv: Peso del tanque vacío

Plíquido: Peso del líquido

D: Diámetro

$$M_{res} = (W_{tv} + P_{liquido}) \frac{d}{2}$$

$$M_{res} = (82.99 + 87.77) \frac{4.50}{2}$$

$$\mathbf{M_{res} = 384 \, t - m}$$

-Factor de seguridad

Donde:

M_{res}: Momento resistente

M_{vol}: Momento de volcamiento

$$F_s = \frac{M_{res}}{M_{vol}}$$

$$F_s = \frac{384}{471}$$

$$\mathbf{F_s = 0.82}$$

Este proyecto se centra en analizar y evaluar una cisterna para un sistema contra incendios de una plaza comercial en la cual veremos si cumple con ciertos parámetros el cual será chequear su estabilidad y si es resistente a cargas sísmicas.

Sabemos que tenemos una cisterna de hormigón armado el cual tiene las siguientes características:

Tabla 7.
Datos de cisterna

DATOS DE LA CISTERNA		
Volumen de agua	102	m^3
Diámetro de la cisterna	4,50	m
Altura de diseño	7,50	m
Altura de cúpula	0,9	kg/m^2
Resistencia del hormigón	280	kg/m^2
Resistencia del acero	4200	kg/m^2

Una vez ya teniendo claro los datos sobre cómo fue elaborada la cisterna procedemos a ingresar al programa Sap 2000 en el cual vamos a recrear el diseño de nuestra cisterna en el software para poder evaluar como es el comportamiento de la misma bajo diferentes cargas y condiciones. Se realizará el diseño paso a paso para ir analizando todas las anomalías que pueda presentar nuestra estructura.

1.- Una vez abierto el software procedemos a crear un nuevo modelo para el cual vamos a seleccionar la plantilla en la cual vamos a realizar nuestro trabajo. La plantilla que utilizaremos para la elaboración del cilindro de nuestra cisterna será la de SHELLS y seleccionamos la opción cilindro a la cual una vez seleccionada le daremos los valores de altura del cilindro y el radio del mismo y seleccionaremos cuantas divisiones usaremos en el eje Z como también el número de divisiones en el eje XY, estas divisiones en los ejes son las que permitirán que sea más fácil a la hora de colocar los elementos

Ilustración 2.

Modelo de software

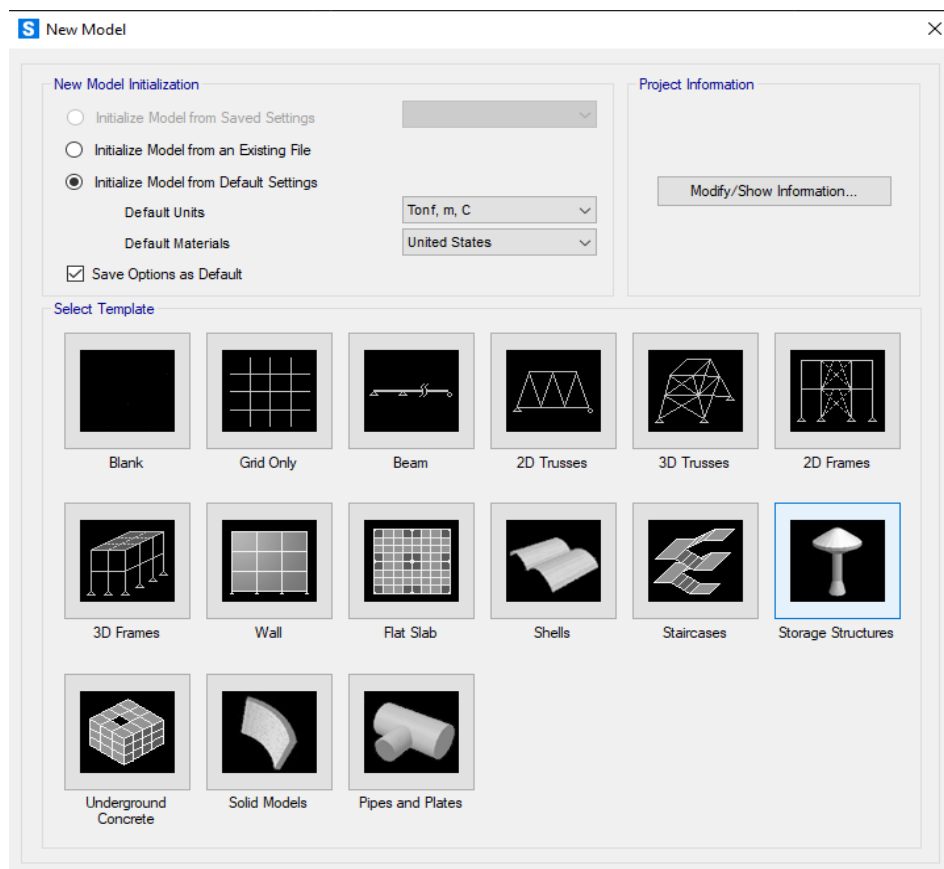


Ilustración 3

Programación

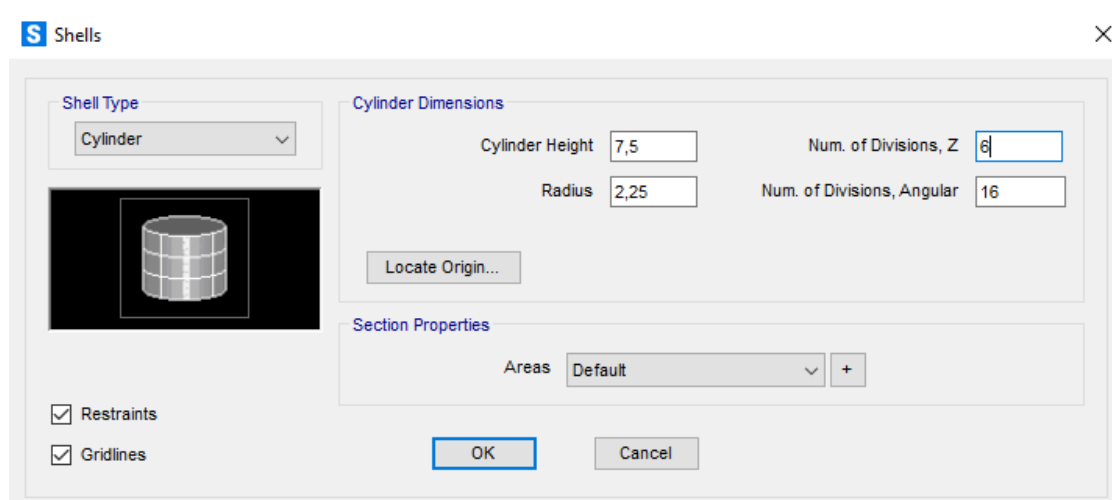
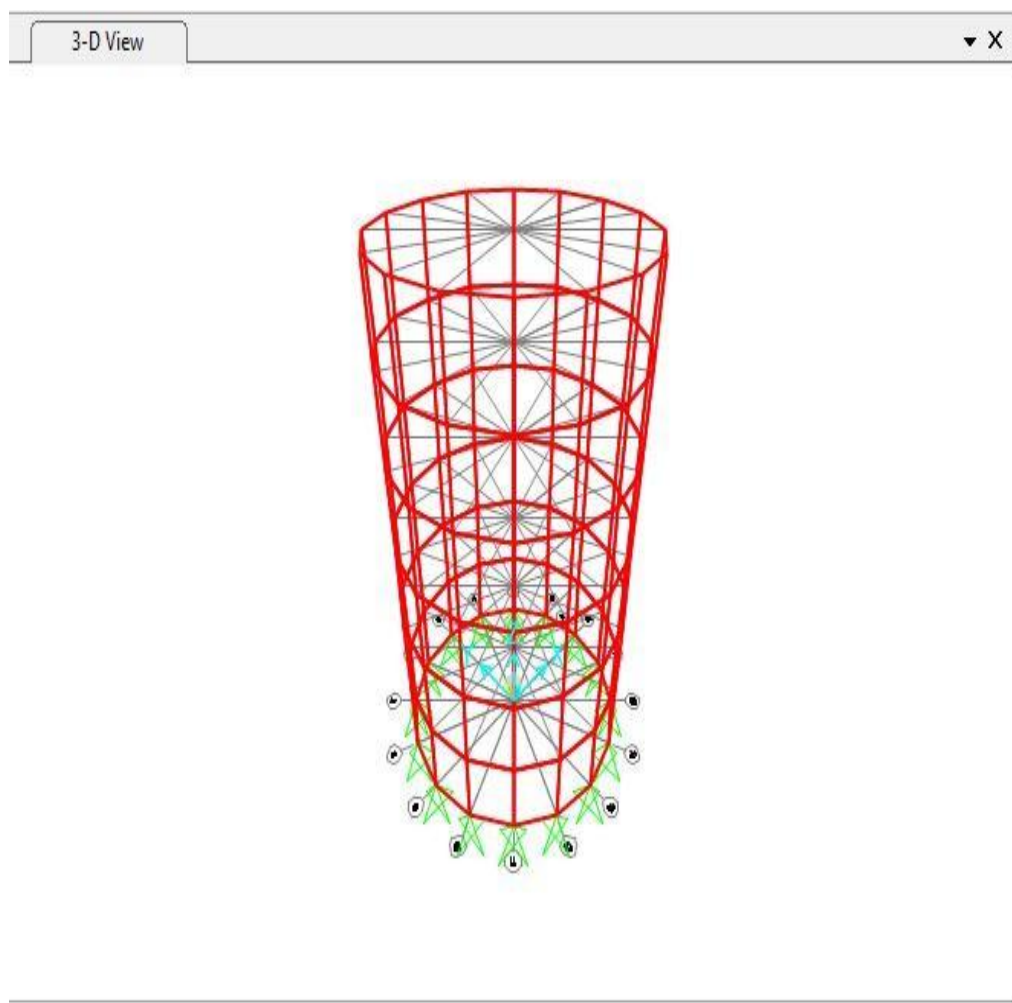


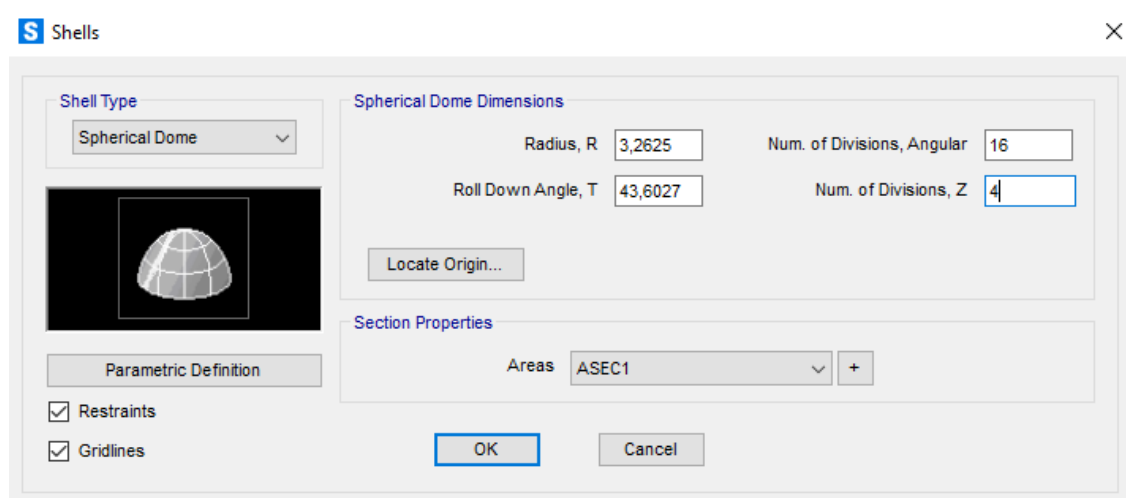
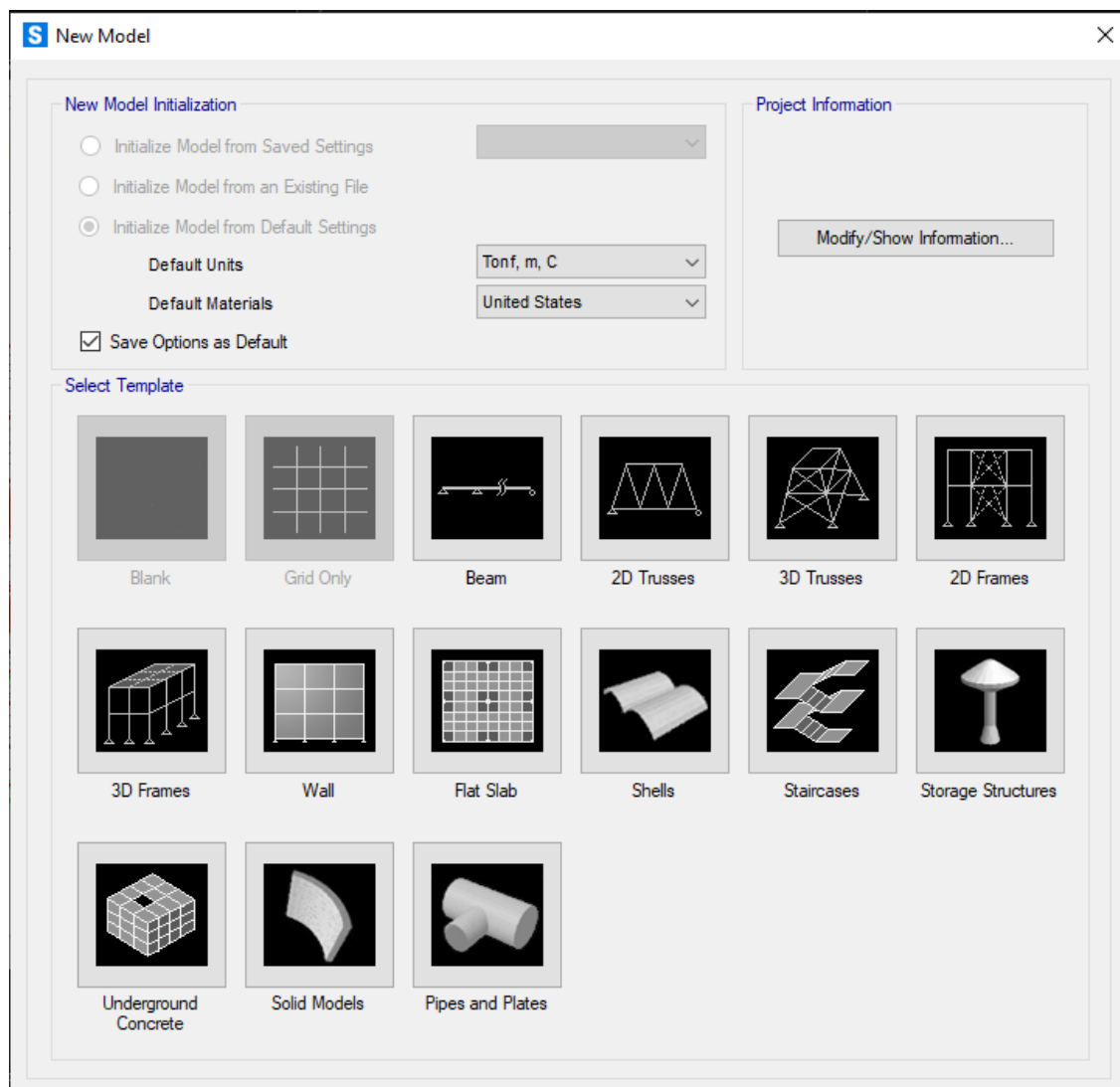
Ilustración 4

Diseño del cilindro



2.- Una vez creado nuestro mallado para el diseño del cilindro continuaremos realizando ahora el mallado para la cúpula así que dentro del mismo proyecto de Sap añadiremos otra plantilla la cual seleccionares otra vez SHELLS pero esta vez seleccionamos la opción de domo esférico y le damos los valores de Angulo y radio que va a tener nuestra cúpula y a su vez ponemos la cantidad de divisiones que va a tener nuestro mallado tanto en los ejes XY como también en el Z.

Ilustración 5.
Proyecto de SAP2000



3.- Una vez hecho todo nuestro mallado procedemos a elegir la opción “GROUP DEFINITION” la cual nos va a permitir crear grupos del mallado en el que vamos a trabajar, esto permitirá que el diseño de la estructura sea más sencillo y a su vez sea más fácil asignar las cargas por grupos ya que no se va a tener que seleccionar elemento por elemento si no que va a hacer una solo selección tanto como del cilindro o de la cúpula o incluso se podrá seleccionar ambos elementos a la vez

Ilustración 6.

Group Definition Paredes

S Group Definition

Group Name: PAREDES

Group Uses

☒ Selection	☒ StaticNL Structure Stage
☒ Section Cut Definition	☒ Bridge Response Output
☐ Steel Frame Design Group	☐ Auto Seismic Force Output
☒ Concrete Frame Design Group	☐ Auto Wind Force Output
☐ Aluminum Design Group	☒ Mass and Weight Output
☐ Cold Formed Design Group	

Check/Uncheck All

Display Color

OK Cancel

Ilustración 7.
Group Definition Cúpula

The image shows a software dialog box titled "Group Definition" with a close button (X) in the top right corner. Inside the dialog, there is a section for "Group Name" with a text box containing "CUPULA". Below this is a section titled "Group Uses" containing a list of checkboxes arranged in two columns. The first column includes "Selection" (checked), "Section Cut Definition" (checked), "Steel Frame Design Group" (unchecked), "Concrete Frame Design Group" (checked), "Aluminum Design Group" (unchecked), and "Cold Formed Design Group" (unchecked). The second column includes "StaticNL Structure Stage" (checked), "Bridge Response Output" (checked), "Auto Seismic Force Output" (unchecked), "Auto Wind Force Output" (unchecked), and "Mass and Weight Output" (checked). A "Check/Uncheck All" button is located below the checkboxes. At the bottom right, there is a "Display Color" label next to a small gray square. At the bottom center, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Group Uses	
☒ Selection	☒ StaticNL Structure Stage
☒ Section Cut Definition	☒ Bridge Response Output
☐ Steel Frame Design Group	☐ Auto Seismic Force Output
☒ Concrete Frame Design Group	☐ Auto Wind Force Output
☐ Aluminum Design Group	
☐ Cold Formed Design Group	☒ Mass and Weight Output

Check/Uncheck All

Display Color

OK Cancel

4.- Después de que ya este todo el mallado y los grupos listos procedemos a realizar la creación del material con el cual vamos a realizar nuestra estructura el cual es un hormigón de resistencia de 280 kg/cm^2

Ilustración 8.
Material Property Data

S Material Property Data ✕

General Data

Material Name and Display Color	F'c 280 ■
Material Type	Concrete ▾
Material Grade	f'c 4000 psi
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume	2,4028
Mass per Unit Volume	0,245

Units

Tonf, m, C ▾

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E	2108383,3
Poisson, U	0,2
Coefficient Of Thermal Expansion, A	9,900E-06
Shear Modulus, G	878493,

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c	2800,
Expected Concrete Compressive Strength	2800,
☐ Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	

☐ Switch To Advanced Property Display

OK
Cancel

5.- Ya creado el material pasamos a crear nuestros elementos que son las paredes y la cúpula, para la cual tendremos que colocarles el ancho de pared que tendremos para nuestros elementos, la resistencia de hormigón que tendrá y por último ponerle el tipo de elemento.

Ilustración 9.

Programa tipo de elementos

S Shell Section Data ✕

Section Name: Display Color: ■

Section Notes:

Type

☒ Shell - Thin
☐ Shell - Thick
☐ Plate - Thin
☐ Plate Thick
☐ Membrane
☐ Shell - Layered/Nonlinear

Thickness

Membrane:

Bending:

Material

Material Name:

Material Angle:

Time Dependent Properties

Concrete Shell Section Design Parameters

Stiffness Modifiers

Temp Dependent Properties

S Shell Section Data ✕

Section Name: Display Color: ■

Section Notes:

Type

☐ Shell - Thin
☒ Shell - Thick
☐ Plate - Thin
☐ Plate Thick
☐ Membrane
☐ Shell - Layered/Nonlinear

Thickness

Membrane:

Bending:

Material

Material Name:

Material Angle:

Time Dependent Properties

Concrete Shell Section Design Parameters

Stiffness Modifiers

Temp Dependent Properties

6.- Una vez creadas las paredes de nuestro cilindro y de la cúpula se procede a realizar la colocación de los elementos en el mallado, una vez realizado todo el dibujo se procedió a poner la opción de que la estructura esta empotrada al suelo.

Ilustración 10.

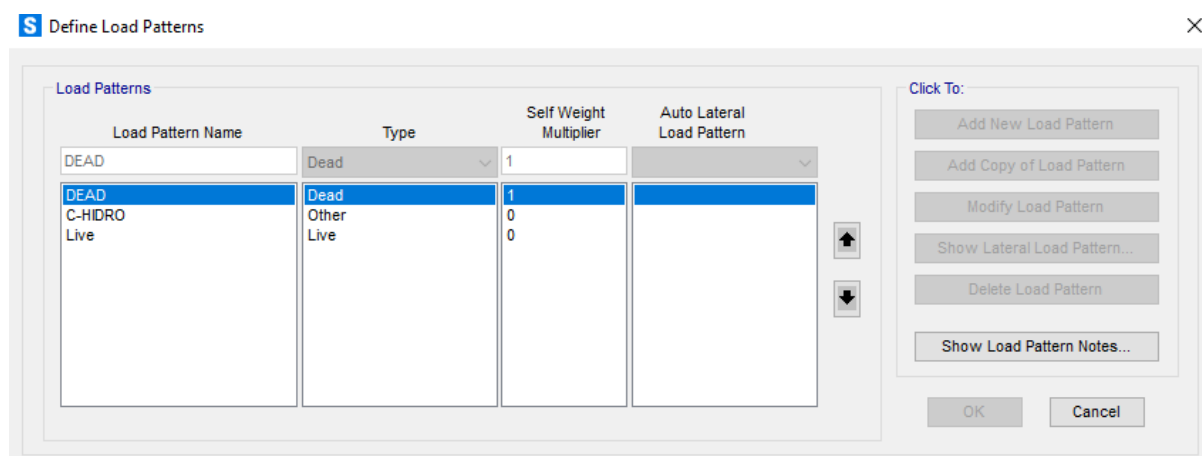
Diseño de elementos en el mallado



7.- Ya finalizado nuestro diseño toca definir cuáles son nuestros patrones de carga que va a soportar nuestra estructura el cual va a ser de carga muerta y de carga hidrostática

Ilustración 11.

Diseño de patrones



8.- Ya teniendo los definidos los patrones de carga se procede a crear la combinación de carga que va a actuar sobre la estructura

Ilustración 12.

Combinación de cargas

S Load Combination Data ✕

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1,5
DEAD	Linear Static		1,5
C-HIDRO	Linear Static		1,8

S Load Combination Data ✕

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		12,
DEAD	Linear Static		12,
Live	Linear Static		16,
C-HIDRO	Linear Static		18,

9.- Creamos el patrón que va a actuar sobre nuestras paredes el cual para la constante C tomara un valor de -1 y para la constante D tomara el valor de la altura del cilindro la cual 7,5 m

Ilustración 13

Diseño de patrón

10.- Ahora procedemos a asignar las cargas que va a sufrir el cilindro por dentro la cual va a ser la carga hidrostática

Ilustración 14.

Asignar cargas

CAPITULO IV

4.1 RESULTADOS

Una vez culminados todos los cálculos y modelados necesarios para el análisis podemos observar distintas cosas que afectan nuestra estructura, para lo cual se pueden observar los siguientes resultados

-Espesor de losa, cúpula y paredes:

Tabla 8

Datos del tanque

Espesor (T)	Cm	Cumple
Paredes	32,00	SI
Cúpula	13,00	Si
Losa	15,00	SI

Los espesores de paredes, cupulas y losa de nuestro modelo cumplen con el ancho necesario para poder aguantar las cargas y presiones que recibe nuestro tanque en distintos aspectos

-Calculo sísmico

Tabla 9.

Datos de zona sísmica

Calculo sísmico	
n	1,80
Z	0,40
Fa	1,20
I	1,50
R	2

Todos estos valores de carga sísmica son proporcionados por la zona geográfica como la Región del proyecto (Región costa) y el cantón del mismo (Samborondón) donde esta originado nuestro proyecto.

-Pesos finales

Una vez tengamos claros los datos iniciales con los cuales fue diseñada nuestra estructura podemos observar los pesos que va a soportar nuestra estructura la mayor parte del tiempo.

Tabla 10.
Pesos de la estructura

Pesos de la estructura		
Peso hormigón	87,32	T
Peso liquido	87,77	T
Peso total	175,09	T

-Cuantía

Se determinó que el diseño del tanque cumple con la cuantía necesaria ya que su valor es superior al valor mínimo de cuantía y tampoco llega excederse por mucho

Cuantía=0.0031 -----Si cumple

-Cortantes

Podemos observar que la cortantes cumplen la condición de que el valor de la cortante nominal sea mayor al valor de cortante ultima.

Tabla 11.
Cortantes

Cortantes	
Vu	16,05
Vn	63,09

$$V_u < V_n$$

-Presión de relleno

La presión del relleno cumple siempre y cuando la carga admisible calculada es menor a la carga admisible máxima que soporta el terreno, caso contrario no cumpliría debido a las fuerzas y pesos que estén actuando sobrepasen lo máximo de peso que resiste ese terreno. Es este caso si cumple ya que la carga calculada es menor

Tabla 12.
Cargas admisibles

Cargas admisibles		
qa (máxima)	15,00	t/m^2
q1	9,09	t/m^2

$$q_a < q_1$$

-Chequeo de estabilidad

En base a todos los resultados obtenidos se pudo llegar a la conclusión de que la estructura va a carecer de estabilidad debido que su factor de seguridad es menor al mínimo requerido el cual es 2. Esto se da ya que el valor del Momento de volcamiento es mayor al momento resistente, por ende, el valor de seguridad es menos de lo permitido ya que el momento resistente es bajo.

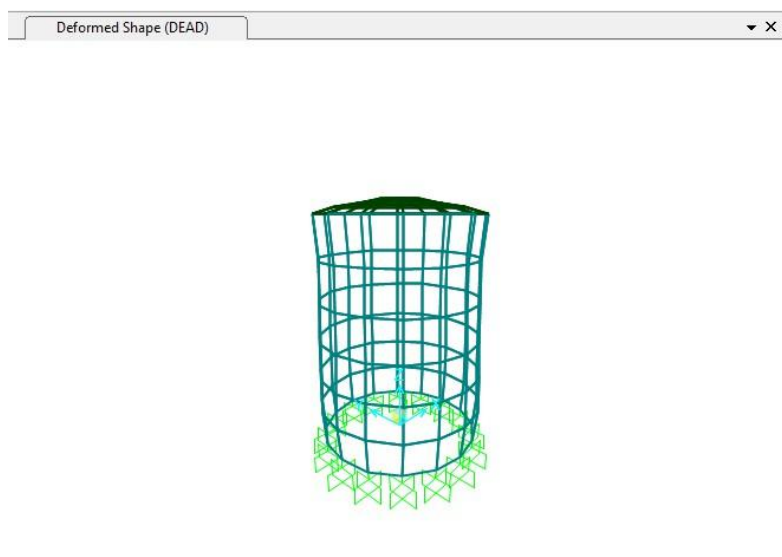
-Sap2000

Gracias al Sap 2000 se pudo visualizar como las cargas hidrostáticas actúan sobre nuestra estructura. Las paredes de la cisterna están siendo sometidas a tensiones de tracción horizontal, mientras que la cúpula está sometida a cargas de compresión debido a la geometría que tiene.

Pero este diseño asegura que con espesor de cada uno de sus elementos y de los refuerzos que tiene puede soportar las cargas hidrostáticas planteadas

Ilustración 15.

Deformación del tanque debido a sus cargas muertas

**Ilustración 16.**

Deformación del tanque debido a sus cargas hidrostáticas

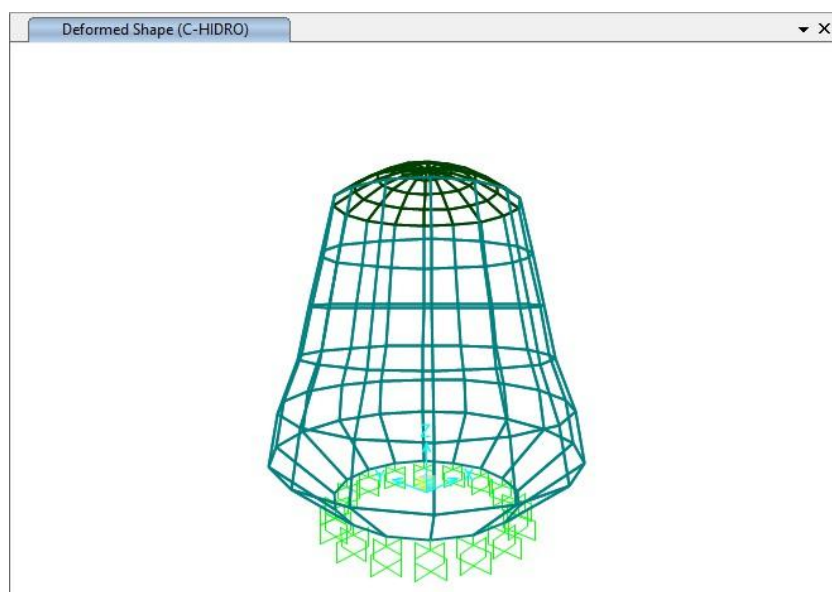
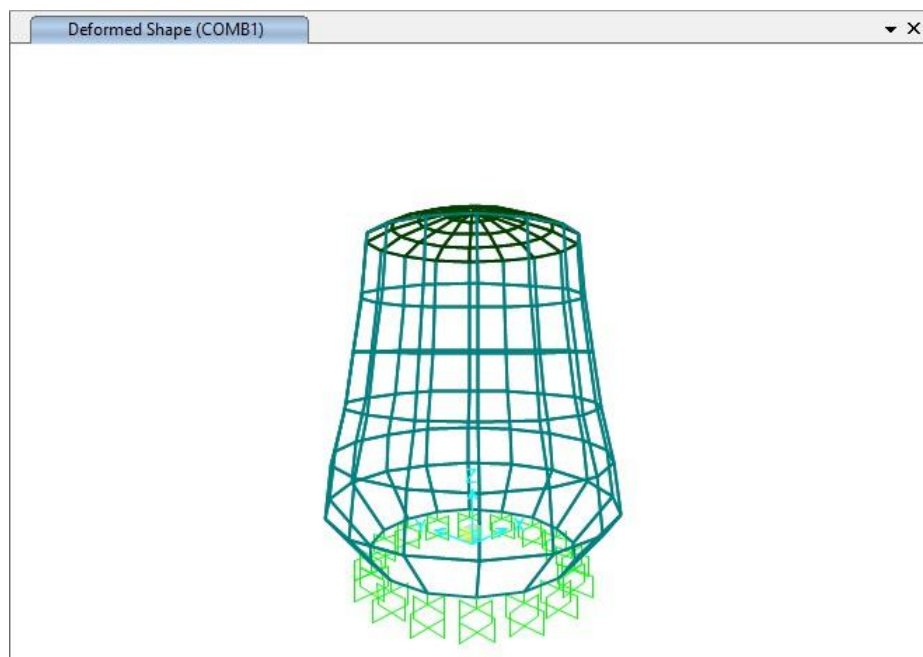


Ilustración 17.

Deformación del tanque debido a la combinación entre cargas muertas y cargas hidrostáticas

**Ilustración 18.**

Deformación del tanque debido a la combinación entre cargas vivas y cargas muertas

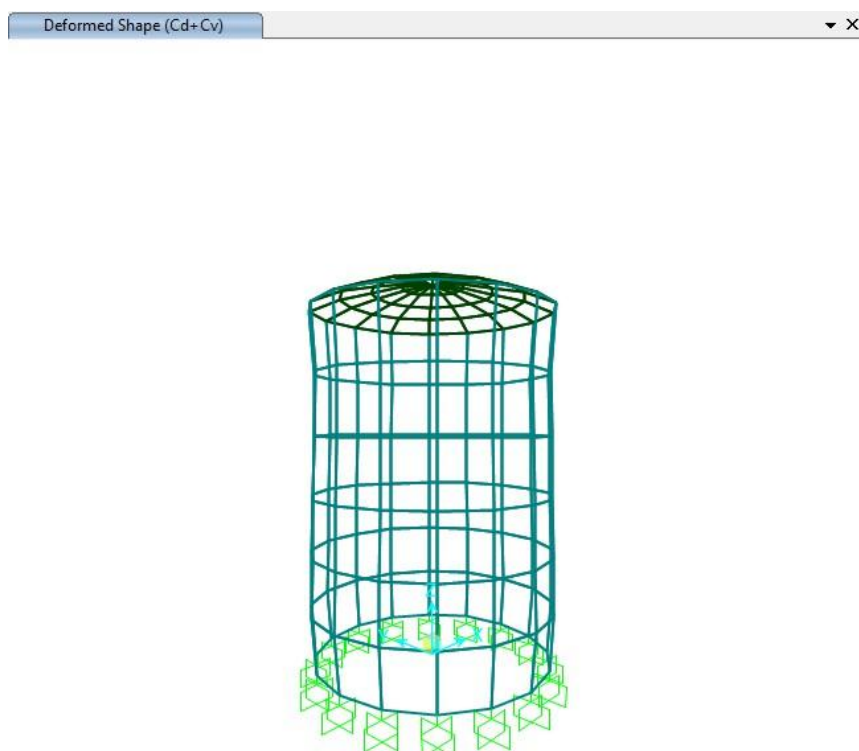
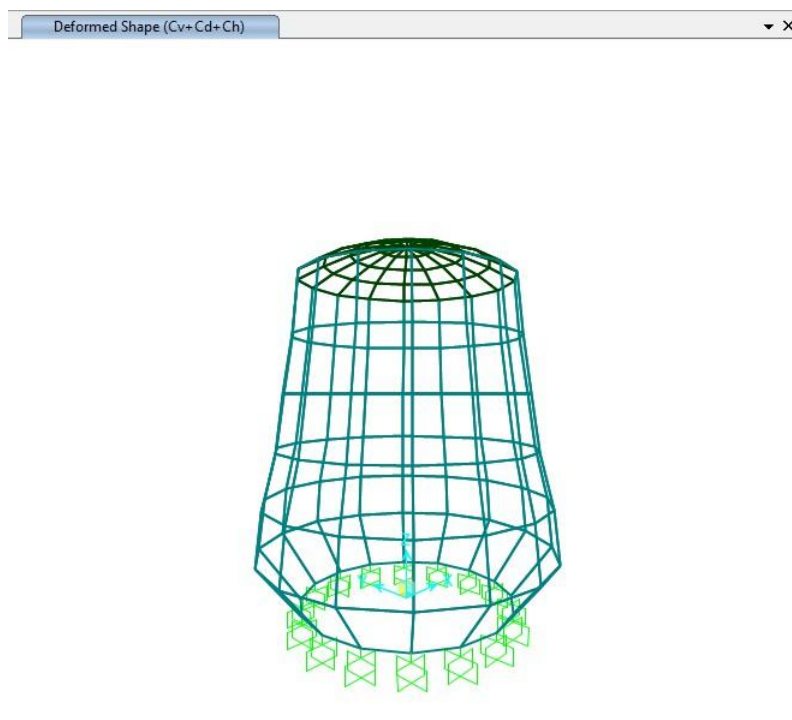


Ilustración 19.

Deformación del tanque debido a la combinación entre cargas vivas, cargas muertas y cargas hidrostáticas

**Ilustración 20.**

Fuerzas en el plano (cargas muertas)

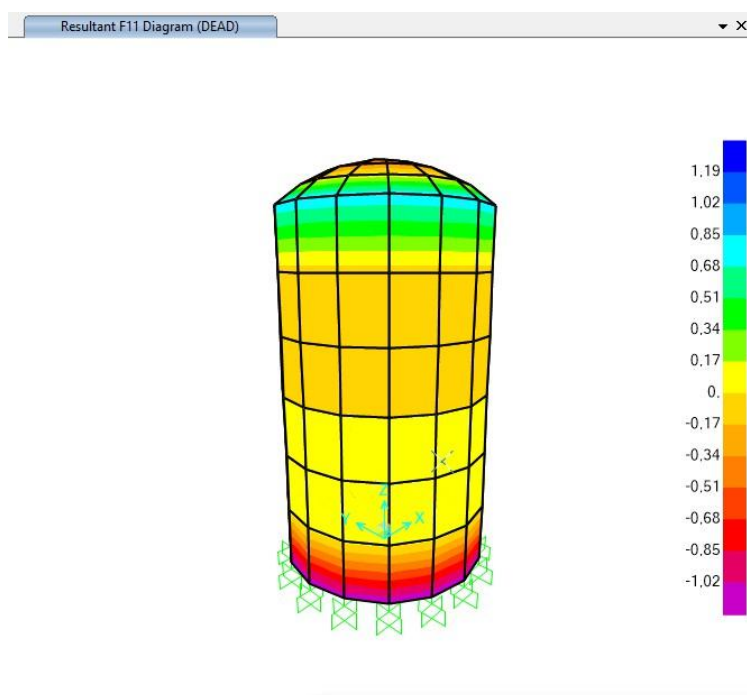


Ilustración 21.
Fuerzas en el plano (cargas hidrostáticas)

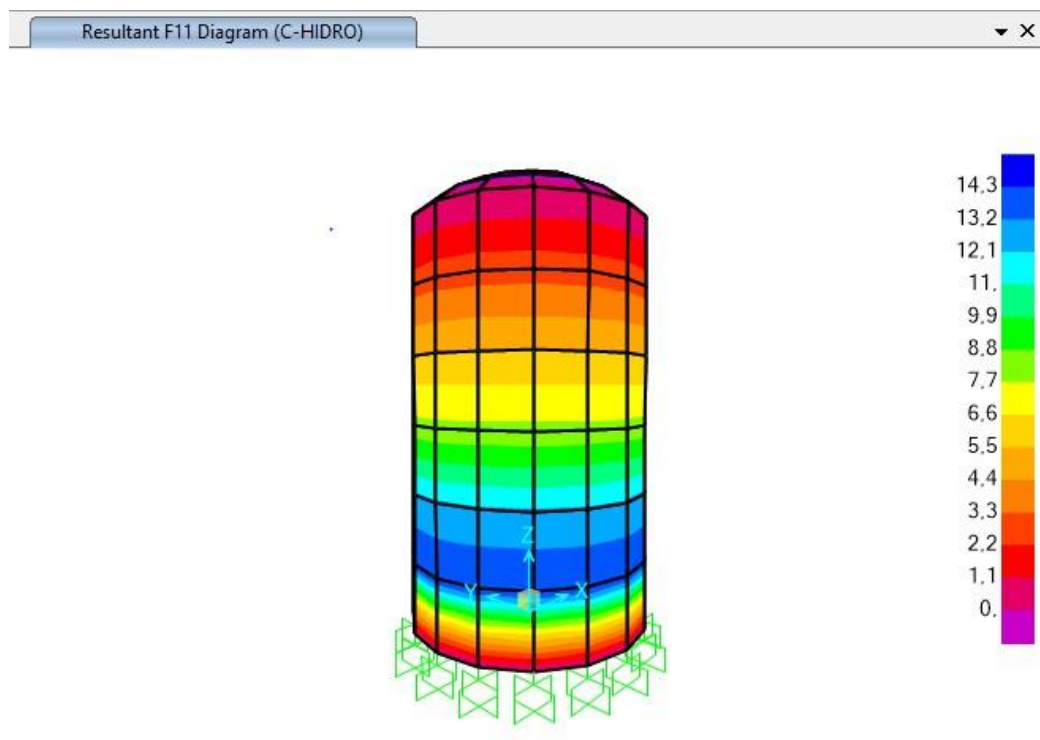


Ilustración 22.
Fuerzas en el plano (combinación de cargas muertas y hidrostáticas)

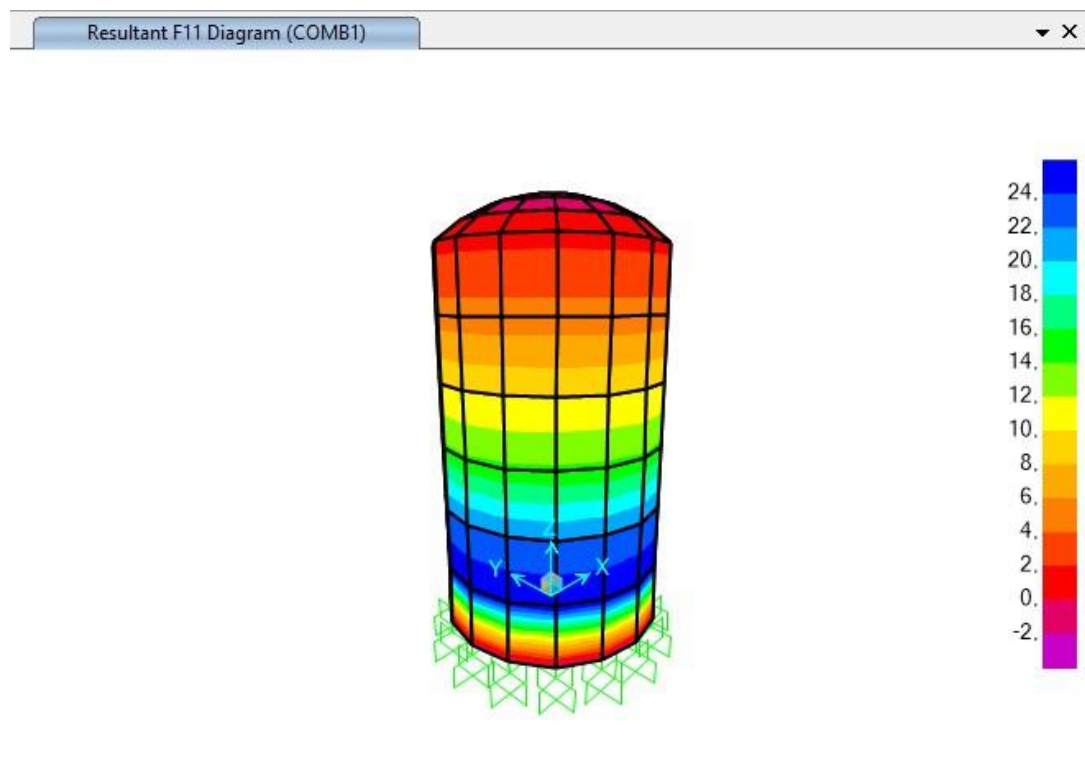
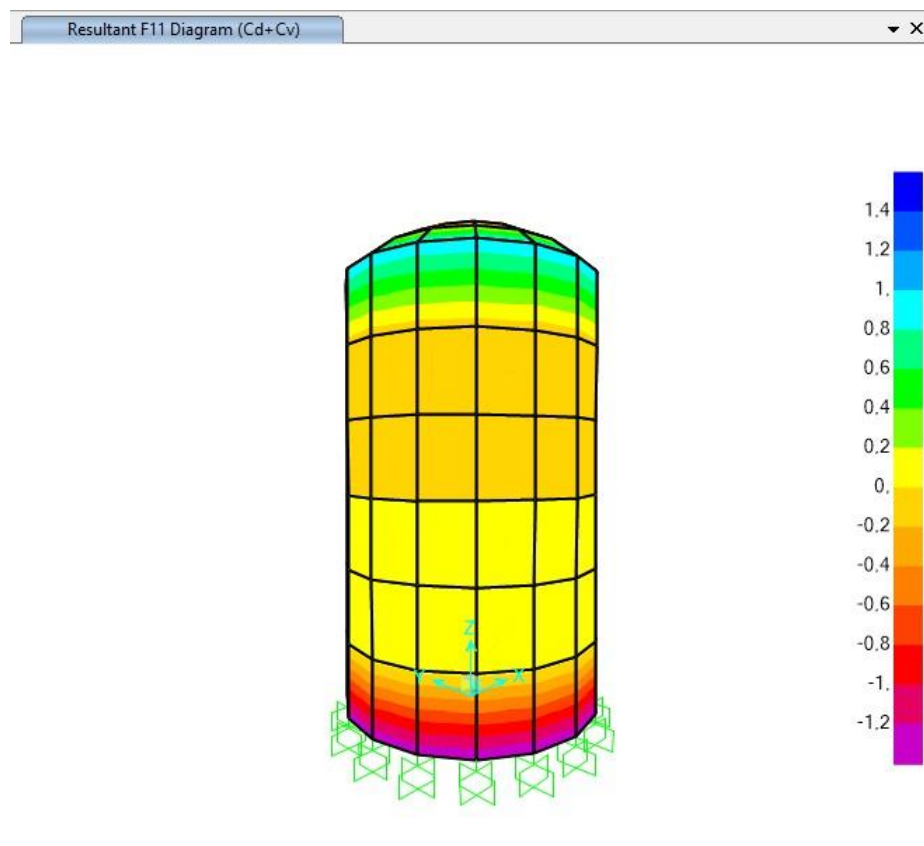


Ilustración 23.

Fuerzas en el plano (combinación de cargas vivas y muertas)

**Ilustración 24.**

Fuerzas en el plano (combinación de cargas vivas, muertas y hidrostáticas)

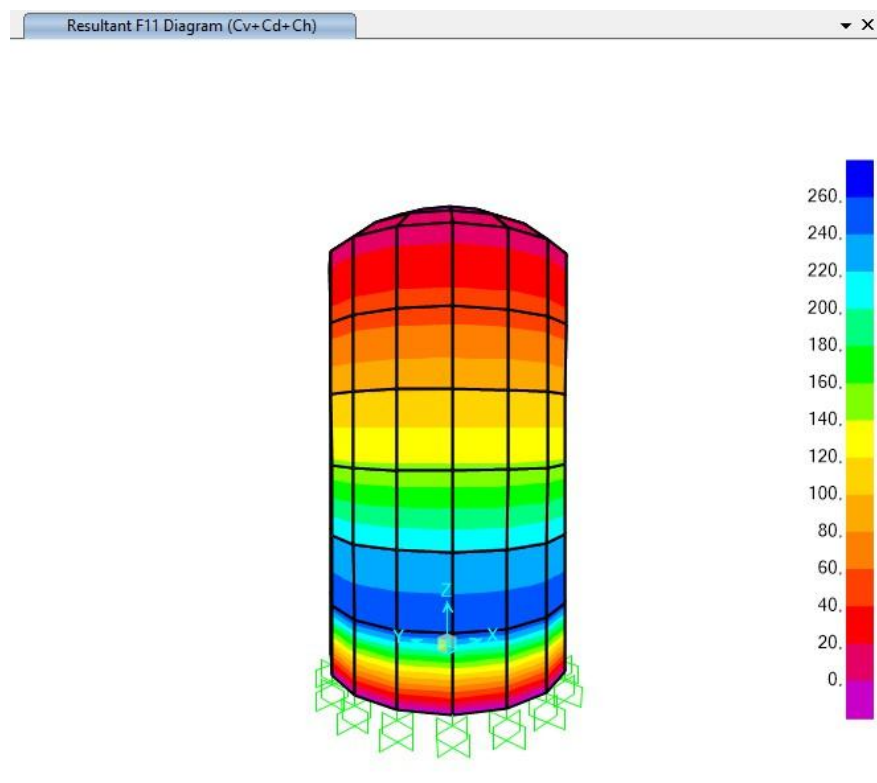
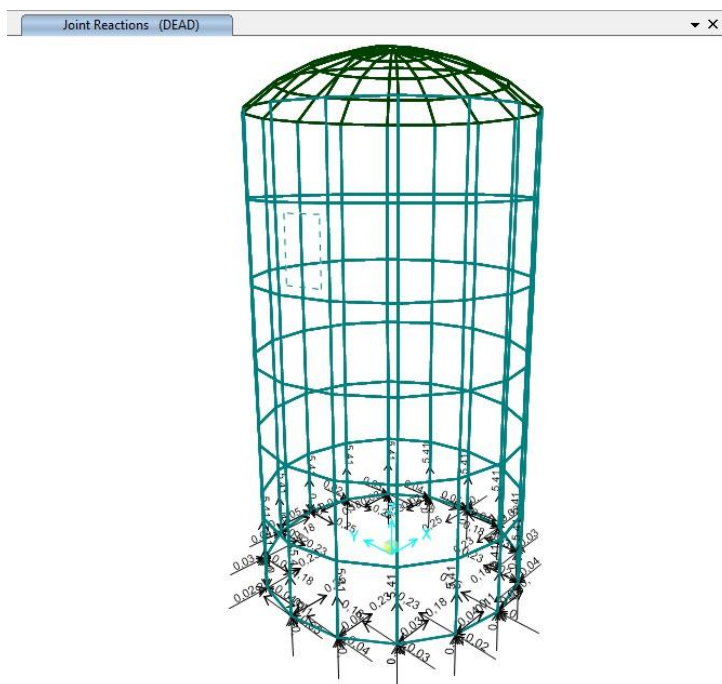


Ilustración 25.

Fuerzas que actúan sobre las restricciones (cargas muertas)

**Ilustración 26.**

Fuerzas que actúan sobre las restricciones (cargas hidrostáticas)

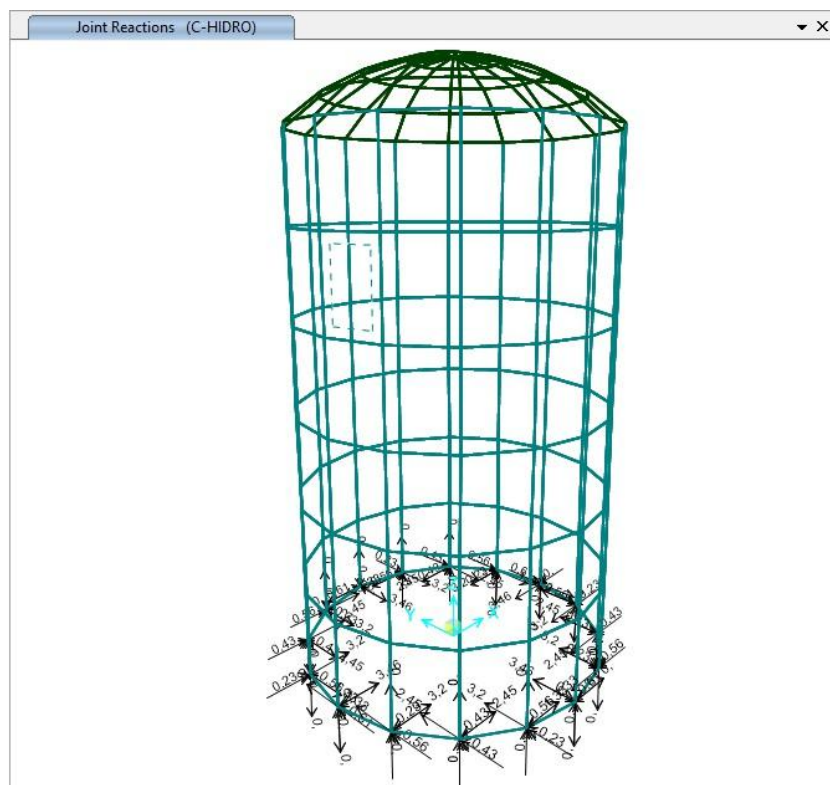
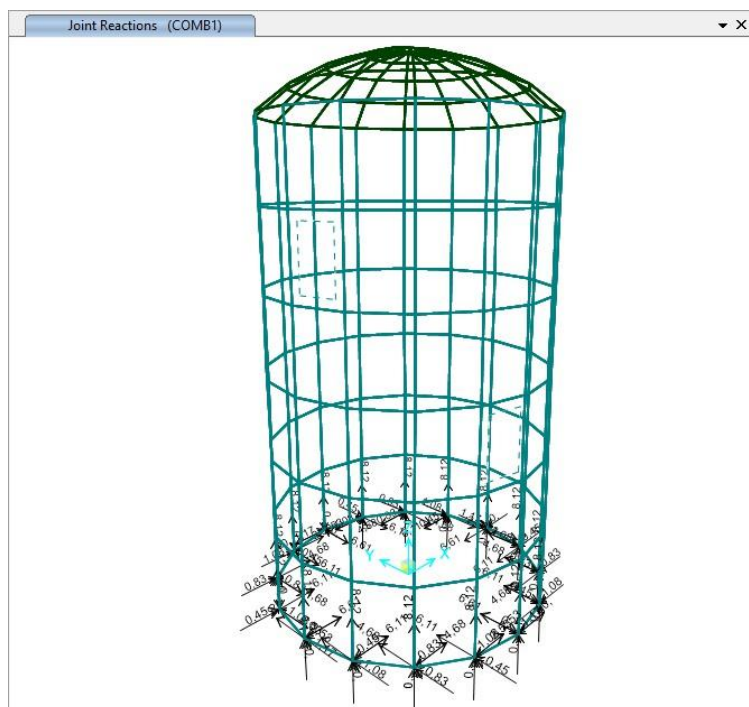


Ilustración 27.

Fuerzas que actúan sobre las restricciones (combinación de cargas)



4.2 CONCLUSIONES

En conclusión esta cisterna fue modelada mediante el software Sap2000 y a su vez validada con cálculos los cuales nos indican que el diseño de la cisterna cumple en muchos aspectos como lo son las cortantes, cargas hidrostáticas, cargas vivas y muertas, cargas admisibles, pero teniendo un inconveniente en el chequeo de estabilidad lo cual nos indica que nuestro momento de volcamiento es mayor a nuestro momento resistente por lo siguiente el factor F_s es menor al mínimo establecido el cual es de 2. Este cheque de estabilidad nos permite darnos cuenta de una posible vulnerabilidad en el diseño el cual pone en riesgo la seguridad y funcionalidad de la cisterna en casos de suma emergencia.

Para estos usos el hormigón es un material muy adecuado para realizar cisternas ya que el hormigón tiene una durabilidad, resistencia a la compresión y una alta capacidad de soportar grandes cargas. Con el correcto uso de aditivos podemos brindarle a nuestra cisterna una mejor impermeabilidad y una gran protección contra las filtraciones para así lograr proteger la calidad del agua que tenemos almacenada. El hormigón al ser un elemento tan adaptable permite una gran flexibilidad en el diseño de las cisternas, lo cual ayuda a que pueda adaptarse a las formas y tamaños que vamos a necesitar según el proyecto. Otra ventaja que se tiene de realizar las cisternas en hormigón es que este elemento es ampliamente disponible lo que hace que sea más económico y accesible además tiene una alta durabilidad la cual ocasiona que los mantenimientos sean después de un largo tiempo y no a un tan alto costo.

El SAP 2000 es una gran herramienta al momento de analizar este tipo de estructuras ya que al tener una gran interfaz permite diseñar las estructuras de todas las maneras posibles, a su vez genera resultados de todas las fuerzas y reacciones que estén actuando sobre el elemento. Además, podemos ver las deformaciones que sufrió nuestra estructura tanto con las cargas muertas, cargas hidrostáticas y la combinación entre ellas 2, a su vez también nos ayuda ver los cortantes que sufre la estructura, las reacciones que se generan sobre sus apoyos, y a su vez los diagramas y tablas que nos dan el dato de todos los cálculos que han sido generados y evaluados en la estructura

Este tipo de estructuras como las cisternas para sistemas contra incendios dentro de plazas comerciales son tan necesarias debido a que almacenan agua que puede ser usada en caso de emergencias dentro de la plaza comercial, por eso es necesario darle un óptimo cuidado a la cisterna para que no haya inconvenientes a futuro que puedan ocasionar grandes daños o pérdidas tanto económicas como humanas.

4.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo un análisis detallado y riguroso del diseño estructural de la cisterna utilizando herramientas computacionales avanzadas como SAP2000. Este análisis debe incluir la simulación de diversas combinaciones de carga, incluyendo cargas permanentes, hidrostáticas, sísmicas y dinámicas, con el objetivo de garantizar que la estructura mantenga su estabilidad y desempeño óptimo en condiciones extremas. Además, es esencial realizar evaluaciones periódicas para identificar posibles puntos críticos en la estructura, como zonas de alta concentración de esfuerzos, que puedan requerir refuerzo o modificaciones adicionales.

Es fundamental implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares de la cisterna para detectar a tiempo fisuras, filtraciones, corrosión en el acero de refuerzo u otros signos de deterioro. Estas inspecciones deben complementarse con pruebas de integridad estructural y análisis no destructivos, asegurando que los materiales sigan cumpliendo con las especificaciones de diseño. Además, se sugiere realizar un monitoreo constante de las condiciones del agua almacenada, ya que la presencia de agentes agresivos como cloruros o sulfatos puede acelerar la degradación del hormigón y las armaduras.

Durante la construcción o rehabilitación de la cisterna, es importante utilizar materiales de alta calidad que cumplan con las normativas vigentes y especificaciones técnicas recomendadas. El empleo de aditivos impermeabilizantes y concretos de baja permeabilidad ayudará a garantizar la resistencia de la cisterna frente a la entrada de agua y agentes corrosivos del ambiente. Asimismo, se debe asegurar que el proceso de curado del hormigón se realice adecuadamente para maximizar su durabilidad.

En cuanto a la operación del sistema, se recomienda garantizar la capacidad de almacenamiento adecuada para cubrir la demanda en situaciones de emergencia, incluyendo el abastecimiento de los sistemas contra incendios por un tiempo mínimo definido por las normativas. Además, es importante considerar la instalación de fuentes de abastecimiento secundarias, como conexiones a redes municipales, pozos o sistemas auxiliares, para evitar interrupciones en el suministro de agua durante emergencias.

Finalmente, se sugiere la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real que permita controlar los niveles de agua, las presiones dentro del sistema y las condiciones estructurales de la cisterna. Este monitoreo puede integrarse con sistemas de gestión de emergencias para garantizar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier eventualidad. La

combinación de estas recomendaciones asegurará que la cisterna cumpla con los estándares de seguridad, funcionalidad y durabilidad, maximizando su rendimiento operativo y protegiendo vidas y bienes en situaciones críticas.

4.4 BIBLIOGRAFÍA

- (ACI), A. C. (2019). ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- (IGEPN), I. G. (s.f.). *Actividad sísmica en Ecuador*. Obtenido de www.igepn.edu.ec
- (MIDUVI), M. d. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec>
- (MOPC), M. d. (s.f.). *Guía de Diseño Seguro para Edificaciones*.
- (NFPA), N. F. (2023). *Standards and Codes*. Obtenido de www.nfpa.org
- Bouzelha, K. (2019). Análisis temporal del desempeño de un tanque de almacenamiento de HA considerando la corrosión.
- Bryan, J. L. (2002). *Fire Suppression and Detection Systems*.
- Bryan, J. L. (2002). *Fire Suppression and Detection Systems*.
- Chitty, J. B. (2017). *Fire Safety Management Handbook*.
- Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. (Vol. 5ta Edición).
- Computers and Structures, I. (. (2023). *SAP2000: Integrated Structural Analysis and Design Software*.
- CONSTRUCCION, (. N. (2014). PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMORESISTENTE.
- CONSTRUCCION, N. E. (2014). PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE.
- CONSTRUCCION, N. N. (2014). NEC-15.
- Cote, A. E., & Bugbee, P. A. (2008). *Principios de la ingeniería de protección contra incendios*.
- Crespo, M. A. (2015). *Estructuras Hidráulicas de Hormigón: Diseño y Construcción*.
- Finnemore, E. J., & Franzini, J. B. (2002). *Fluid Mechanics with Engineering Applications*.
- Ghali, A. &. (2000). *Hormigón Armado: Fundamentos y Técnicas de Diseño*.
- Ghali, A., & Favre, R. (2000). *Hormigón Armado: Fundamentos y Técnicas de Diseño*.
- Ghali, A., Neville, A. M., & Brown, T. G. (2017). *Métodos de análisis estructural avanzados*.
- Gómez Soberón, J. M. (2001). *Durabilidad y Comportamiento del Hormigón Armado*. .
- González, J. L. (2017). *Diseño Hidráulico de Sistemas Contra Incendios en Edificaciones Comerciales*.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Mechanics of Fluids*. .

- Housner, G. W. (1963). The Dynamic Behavior of Water Tanks.
- Housner, G. W. (1963). The Dynamic Behavior of Water Tanks.
- Humar, J. (2012). *Dynamics of Structures*.
- Jiménez, R., & Rodríguez, M. (2019). *Design Considerations for Fire Protection Systems in Commercial Buildings*.
- Kassimali, A. (2015). *Structural Analysis*.
- M., E. C. (Noviembre de 2016). ANÁLISIS DE UN RESERVORIO CILINDRICO. Obtenido de EDEN CAPCHA ingeniería: <https://ceaingenieria.blogspot.com/2016/11/analisis-de-un-reservorio-cilindrico.html>
- Mander, J. B. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete.
- Marsh, D. W. (2016). *Introduction to Fire Protection and Emergency Services*.
- McGuire, J. &. (2015). *Design and Maintenance of Fire Suppression Systems*.
- Mehta, P. K. (2014). *Tecnología del Concreto: Microestructura, Propiedades y Materiales*.
- Miranda, E., & Aslani, H. (2003). Probabilistic Response Assessment for Performance-Based Earthquake Engineering.
- Morales, F. R. (2008). *Diseño de Estructuras de Hormigón Armado*.
- Mott, R. L. (2006). Applied Fluid Mechanics.
- Patterson, T. E. (2013). *Diseño avanzado de protección contra incendios*.
- Taranath, B. S. (2016). *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*.
- Veletsos, A. S., & Yang, J. Y. (1977). Dynamics of Fixed-Base Liquid Storage Tanks.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2009). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*.

CAPITULO V

5.1 ANEXOS

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

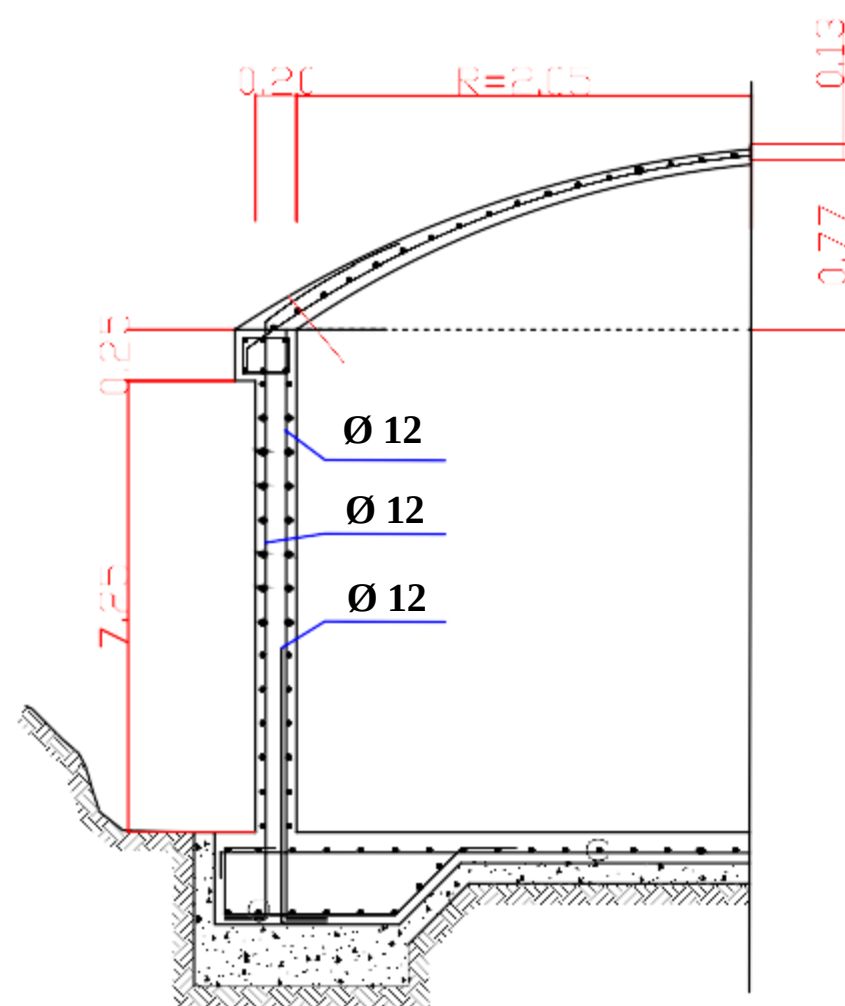
Sistemas Estructurales Dúctiles		R
Sistemas Duales		
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8	
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8	
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8	

Sistemas Estructurales Dúctiles		R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7	
Pórticos resistentes a momentos		
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8	
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8	
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8	
Otros sistemas estructurales para edificaciones		
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5	
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5	

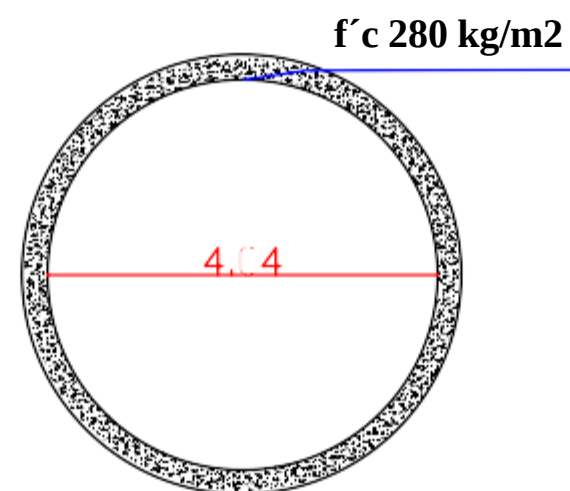
Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada		R
Pórticos resistentes a momento		
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.		3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia		2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.		2.5
Muros estructurales portantes		
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.		1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.		3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.		3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.		3

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación	3.5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

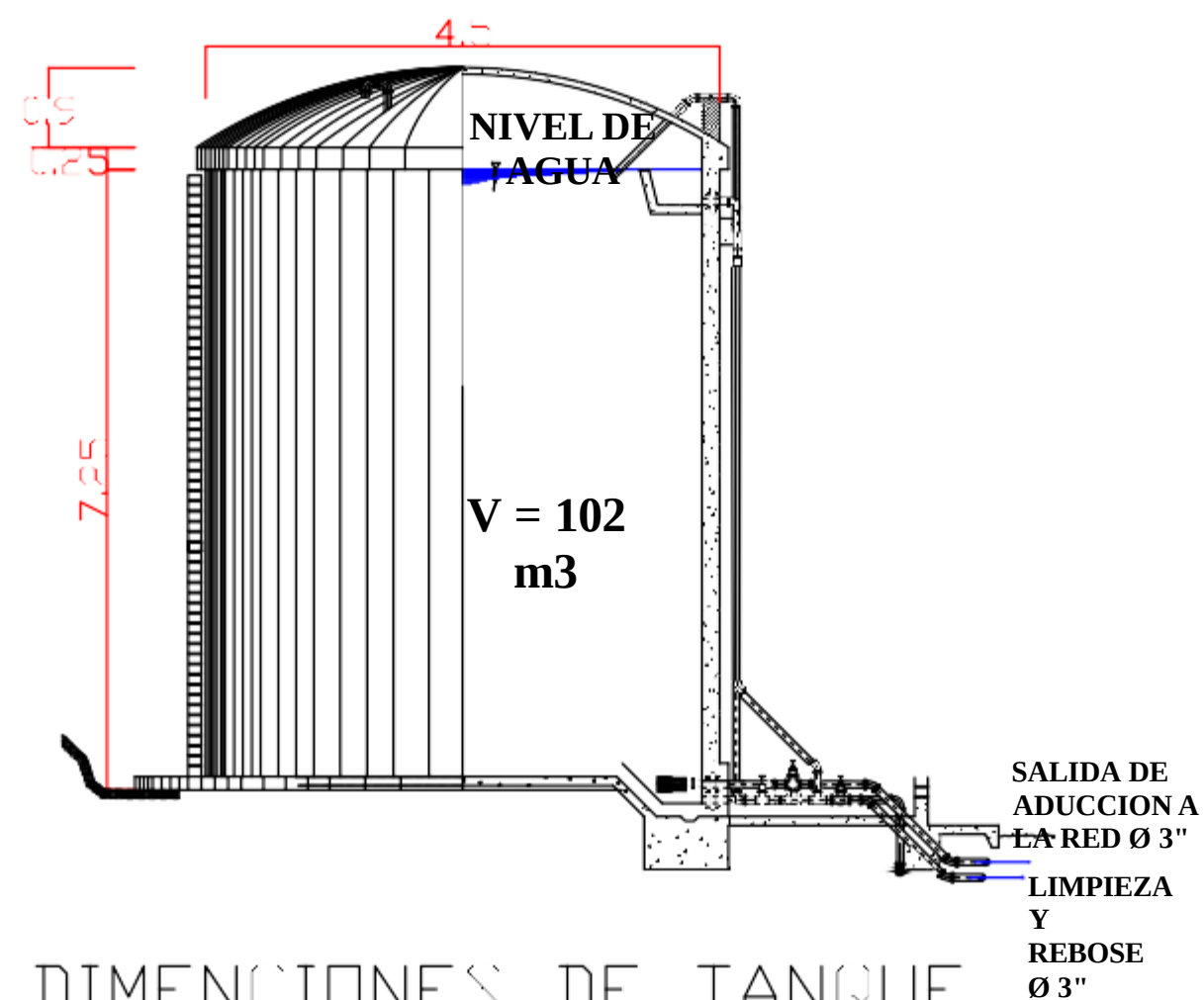
POBLACION	PARROQUIA	CANTON	PROVINCIA	Z
ALFREDO BAQUERIZO MORENO	ALFREDO BAQUERIZO MORENO	ALFREDO BAQUERIZO MORENO	GUAYAS	0.30
CARLOS J. AROSEMENA	GUAYAS (PUEBLO NUEVO)	EMPALME	GUAYAS	0.40
LA GUAYAQUIL	BALZAR	BALZAR	GUAYAS	0.40
PALESTINA	PALESTINA	PALESTINA	GUAYAS	0.40
PEDRO VELEZ	EL ROSARIO	EMPALME	GUAYAS	0.40
SANTA LUCIA	EL ROSARIO	EMPALME	GUAYAS	0.40
BALZAR	BALZAR	BALZAR	GUAYAS	0.40
SANTA LUCIA	SANTA LUCIA	SANTA LUCIA	GUAYAS	0.40
JUNQUILLAL	JUNQUILLAL	SALITRE	GUAYAS	0.40
CERRITOS	BALZAR	BALZAR	GUAYAS	0.40
EL SALITRE	EL SALITRE (LAS RAMAS)	SALITRE	GUAYAS	0.40
DAULE	DAULE	DAULE	GUAYAS	0.40
COLIMES	COLIMES	COLIMES	GUAYAS	0.40
CASCAJAL	VALLE DE LA VIRGEN	PEDRO CARBO	GUAYAS	0.40
ZAMORA NUEVO	PEDRO CARBO	PEDRO CARBO	GUAYAS	0.40
EL PIÑAL DE ABAJO	LIMONAL	DAULE	GUAYAS	0.40
PEDRO CARBO	PEDRO CARBO	PEDRO CARBO	GUAYAS	0.40
LAS CAÑAS	LOMAS DE SARGENTILLO	LOMAS DE SARGENTILLO	GUAYAS	0.40
PUEBLO NUEVO	ISIDRO AYORA	ISIDRO AYORA	GUAYAS	0.40



CORTE VISTA LATERAL



CORTE VISTA SUPERIOR



DIMENCIONES DE TANQUE

Aguilar Paredes Melanie
Pinos Cardenas Jesus

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE
UNA CISTERNA PARA UN
SISTEMA
CONTRA INCENDIOS DE UNA
PLAZA COMERCIAL UBICADA
EN EL
KM 14.5 VÍA A SAMBORONDÓN

